

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

**SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**



**“CONTENIDO DE CARBONO Y DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE  
LA VEGETACION EN UN ÁREA BAJO MANEJO FORESTAL,  
CHIHUAHUA, MÉXICO”**

**TESIS**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO**

**DE MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES**

**PRESENTA:**

**Yazmín Amaya González**

CONTENIDO DE CARBONO Y DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE LA VEGETACION EN UN ÁREA BAJO  
MANEJO FORESTAL, CHIHUAHUA, MÉXICO

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

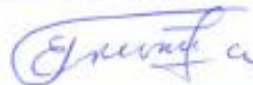
"CONTENIDO DE CARBONO Y DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE LA VEGETACION EN UN ÁREA BAJO  
MANEJO FORESTAL, CHIHUAHUA, MÉXICO"

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO

DE MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES

COMITÉ DE TESIS:



DR. EDUARDO JAVIER TREVIÑO GARZA  
DIRECTOR



DR. ANDRES EDUARDO ESTRADA CASTILLÓN  
CO-DIRECTOR



DR. EDUARDO ALANÍS RODRÍGUEZ  
ASESOR



M.C. JESÚS SAENZ ARAGÓN  
DIRECTOR EXTERNO

Linares, Nuevo León, México.

Agosto 2018

**Índice:**

1	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	HIPOTESIS .....	5
1.2	OBETIVO GENERAL .....	5
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.4	JUSTIFICACIÓN.....	6
2	ANTECEDENTES .....	7
2.1	Caracterización estructural .....	7
2.2	Cambio climático Global.....	8
2.3	Fijación del Dióxido de Carbono en Bosques (CO <sub>2</sub> ).....	9
2.4	Reservorios de Carbono .....	12
2.5	Concentración de carbono en especies de interés forestal.....	13
2.6	Manejo forestal .....	13
2.6.1	Métodos de manejo .....	14
2.7	Métodos de estimación de biomasa aérea .....	14
2.7.1	Método destructivo.....	15
2.7.2	Método no destructivo. ....	15
2.7.3	Método tradicional.....	16
2.7.4	Factor de expansión de biomasa.....	17
2.8	Investigaciones relacionadas al tema Biomasa y Carbono .....	17
3	MATERIALES Y METODOS.....	21
3.1	UBICACIÓN Y DESCRIPCION DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	21
3.1.1	Localización .....	21
3.1.2	Clima.....	22
3.1.3	Geología .....	22
3.1.4	Edafología.....	23
3.1.5	Hidrología .....	24
3.1.6	Características Biológicas .....	25
3.2	DISEÑO DE MUESTREO.....	27
3.2.1	Tamaño de muestra .....	28
3.3	REGISTO DE LA INFORMACIÓN .....	29

**CONTENIDO DE CARBONO Y DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE LA VEGETACION EN UN ÁREA BAJO  
MANEJO FORESTAL, CHIHUAHUA, MÉXICO**

---

3.4	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	29
3.4.1	Análisis de la estructura .....	29
3.4.2	Análisis del contenido de carbono almacenado y posibilidades de captura .....	31
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
4.1	Estructura florística .....	35
4.1.1	Diversidad $\alpha$ .....	37
4.1.2	Índice de valores de importancia .....	37
4.1.3	Índice de Pretszch .....	39
4.2	Análisis dasométrico y cálculo del Carbono .....	40
4.2.1	Categorías diamétricas.....	40
4.2.2	Volumen y biomasa .....	42
4.2.3	Contenido de Carbono almacenado (CCA) y Equivalente de CO <sub>2</sub> acumulado .....	46
4.2.4	Potencial de captura de carbono en las tres AMF y conservada. ....	51
4.2.5	Análisis estadístico de las variables.....	59
5	CONCLUSIONES .....	66
6	LITERATURA CITADA.....	67

## Índice de cuadros

Cuadro 1. Densidad de la madera ( $\text{g/cm}^3$ ) por especie, señalando la fuente.....	32
Cuadro 2. Especies arbóreas presentes en las tres áreas bajo manejo forestal (AMF) y conservada en el área estudio.....	36
Cuadro 3. Índice de valores de importancia por AMF y conservada. ....	39
Cuadro 4. Tratamientos silvícolas de cada una de las AMF analizadas. ....	42
Cuadro 5. Coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y Párametro estimados para determinar el volumen de cada una de las especies presentes en el Área de Manejo Forestal (AMF) mediante el modelo Fang de acuerdo con Corral 2014 citado por Ramos et al.,2015. ....	43
Cuadro 6. Volúmen y biomasa por hectárea de las tres AMF y la conservada.....	44
Cuadro 7. Volúmen total de las existencias reales del género <i>Pinus</i> , <i>Quercus</i> y <i>Juníperos</i> de las tres AMF y conservada .....	45
Cuadro 8. Resumen de CCA y fijación de $\text{CO}_2$ acumulado por AMF, conservada y especie. ....	48
Cuadro 9. Estimación CCA y $\text{CO}_2$ por género, AMF y conservada. ....	49
Cuadro 10. Potencial de captura y almacenamiento de carbono en promedio para las tres AMF y conservada .....	58
Cuadro 11. Almacenamiento de carbono total en las tres áreas bajo aprovechamiento forestal y área conservada en los géneros <i>Quercus</i> y <i>Juniperus</i> .....	58
Cuadro 12. Estadísticas descriptivas del CCA y $\text{CO}_2$ de las tres AMF y conservada.....	60
Cuadro 13. Estadísticas descriptivas del PCC por año de las tres AMF y conservada.....	60
Cuadro 14. Análisis de varianza de las variables CCA y $\text{CO}_2$ acumulado. ....	61
Cuadro 15. Grupos del CCA por género, AMF y conservada mediante el método Tukey. ....	62
Cuadro 16. Análisis de varianza del PCC por AMF y conservada. ....	63
Cuadro 17. Grupos del PCC por AMF y conservada mediante el método Bonferroni. ....	64

## Índice de figuras

Figura 1. Ciclo del carbono Fuente: Elaboración propia. ....	12
Figura 2. Ubicación del área de estudio Ejido Socorro Rivera .....	21
Figura 3. Geología.....	23
Figura 4. Tipo de suelos.....	24
Figura 5. Corrientes Hidrológicas y curvas de nivel, elaboración propia basada (INEGI Red Hidrográfica escala 1: 50,000 edición 2.0 2010) .....	25
Figura 6. Tipos de vegetación.....	27
Figura 7. Distribución de los sitios de muestreo. ....	28
Figura 8. Valores obtenidos de diversidad de Simpson y de Shannon por AMF y conservada. ....	37
Figura 9. Distribución por estrato altitudinal de las AMF y conservada. ....	40
Figura 10. Número de individuos por categoría diamétricas por hectárea en las tres AMF y conservada. ....	41
Figura 11. Contenido de carbono almacenado y fijación de CO <sub>2</sub> acumulado por AMF y conservada. .....	47
Figura 12. Especies que mayor captura de carbono almacenado y fijación de CO <sub>2</sub> acumulado en las tres AMF y la conservada. ....	50
Figura 13. Potencial de captura de carbono por año e incrementos volumétricos en el AMF uno del género <i>Pinus</i> .....	51
Figura 14. Potencial de captura de carbono por año e incrementos volumétricos en el AMF dos del género <i>Pinus</i> .....	52
Figura 15. Potencial de captura de carbono por año e incrementos volumétricos en el AMF tres del género <i>Pinus</i> .....	53
Figura 16 Carbono almacenado del género <i>Pinus</i> en los años (2015-2018) en AMF uno .....	54
Figura 17 Carbono almacenado del género <i>Pinus</i> en los años (2015-2018) en AMF dos.....	55
Figura 18. Carbono almacenado del género <i>Pinus</i> en los años (2015-2018) en AMF tres. ....	56
Figura 19. Potencial de captura y almacenamiento de carbono por año e incrementos volumétricos en el área conservada del género <i>Pinus</i> .....	57
Figura 20. Jerarquización del CCA por género, AMF y conservada mediante el método Tukey. ....	62
Figura 21. Jerarquización del PCC anual para las AMF y conservada mediante el método Bonferroni. ....	64

## I. AGRADECIMIENTOS

Quiero pronunciar mi reconocimiento a aquellas personas e instituciones que me apoyaron en la elaboración de este trabajo. Mi sincero agradecimiento y reconocimiento al Dr. Eduardo Treviño Garza, director de la presente tesis, por darme la oportunidad de colaborar y aprender de él durante mi estancia en la FCF. Así mismo, el apoyo de los miembros del comité académico. Dr. Andrés Eduardo Estrada Castillón, Dr. Eduardo Alanís Rodríguez, por su enseñanza, orientación, dedicación, observaciones y su apoyo incondicional en el desarrollo de la tesis. Al M.C Jesús Sáenz Aragón por su apoyo constante quien en todo momento me brindó su apoyo y orientación incondicional y por su amistad inigualable, al Ph.D. Fortunato Garza Ocañas por su amistad, orientación durante mi estancia en la facultad, a los ingenieros: Inocencio Ramos Nava, Royce David Bustillos Sandoval y César Iván Martínez Barrera, por las facilidades brindadas para la realización de este estudio, y apoyo en cada momento que lo necesite. Al Ing. Arturo Portillo Ortiz, por su colaboración en la revisión. Al Dr. Guadalupe Nelson Aguilar Palma y al MPEA Javier Camarillo Acosta por brindarme el apoyo en la revisión de los análisis estadísticos, al Ing. Luis Manuel López por apoyarme Wilson a todos muchas gracias por su apoyo absoluto, y por el tiempo que brindaron a este proyecto de tesis.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgar la beca para cursar los estudios de posgrado. A mis compañeros de generación con quienes compartí preocupación, dicha y amistad.

También agradezco a la Facultad de Ciencias Forestales (FCF) de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), por brindarme la oportunidad de llevar a cabo mis estudios de maestría. Extiendo el agradecimiento a su plantilla de profesores por compartir su sabiduría y por sus valiosos consejos.

## II. DEDICATORIA

*Quiero dedicar la presente tesis a las personas más importantes en mi vida...*

*A mi gran familia*

**... MIS PADRES...**

**Joaquín Amaya Gaytán**

**María del Socorro González Olivas**

*De quienes, tras años de ausencia me apoyaron con sus palabras de aliento, su actitud y sacrificio;  
que fueron mi inspiración y fortaleza para permanecer en el camino diseñado.*

**... A MIS HERMANOS...**

**Loreto, María Azucena, Maximino y Joaquín Amaya González**

**...Y MIS SOBRINOS**

**Itzel, Yovana, Heidi, Dahana, José Luis, Joaquín Y., Edgar, Yaretsi, Kendra y Valentina**

*Por su gran cariño y motivación.*

*A todos los compañeros y maestros de la FCF-UANL y la FZyE-UACH, que generosamente siempre  
me entregaron su apoyo, consejos, confianza, palabras de aliento y su gran amistad.*

*A todos ustedes... Mil Gracias*



## RESUMEN

Los bosques tienen la capacidad para almacenar y capturar carbono, por lo que un manejo sustentable, basado en el conocimiento de la diversidad de especies que en ellos se encuentran y en su estructura, podría contribuir a la mitigación del cambio climático global. El objetivo fue analizar la estructura florística, vertical y horizontal, así como el contenido de carbono almacenado, el  $\text{CO}_2$  acumulado y el potencial de captura de carbono, en tres áreas bajo manejo forestal (AMF uno, dos y tres) y una conservada en el Ejido Socorro Rivera, Chihuahua, México. Se establecieron un total de 246 sitios de  $1,000 \text{ m}^2$  en una superficie de 866 ha. Se registraron un total de siete familias distribuidas en ocho géneros y 18 especies, el AMF dos presentó el mayor número de familias y especies, las áreas presentaron una diversidad regular, sin embargo, en el AMF uno se registraron valores más altos en riqueza de especie con el índice de Shannon (2.09). El área conservada presentó mayor abundancia con 828 individuos por  $\text{ha}^{-1}$  seguido del AMF uno con 630 individuos por  $\text{ha}^{-1}$ , en estas dos, el *Pinus durangensis* presentó mayor abundancia y área basal.

Para obtener los valores del contenido de carbono almacenado y  $\text{CO}_2$  acumulado se utilizó el volumen, la biomasa, la densidad de la madera, el factor de biomasa, y el porcentaje carbono de las especies. El área conservada presentó el mayor contenido de carbono almacenado con  $27.7 \text{ MgCCA} \cdot \text{ha}^{-1}$ , seguido del AMF uno con  $22.1 \text{ MgCCA} \cdot \text{ha}^{-1}$ , así como el mayor  $\text{CO}_2$  acumulado en ambas áreas con  $121.9 \text{ MgCO}_2 \cdot \text{ha}^{-1}$  y  $97.3 \text{ MgCO}_2 \cdot \text{ha}^{-1}$ . El *Pinus durangensis* en ambas áreas presentó mayor carbono almacenado y  $\text{CO}_2$ . Las pruebas para Carbono almacenado y  $\text{CO}_2$  acumulado entre las cuatro áreas y por género, resultaron significativas. Los volúmenes existentes y extraídos de pino- encino y el incremento corriente anual, permitieron estimar el potencial de captura de carbono al año. El potencial de captura fue de  $2,998 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , con un promedio de  $3.0 \text{ MgC ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , las tres áreas donde se extrajo madera presentaron el mayor potencial de captura de carbono, con respecto al área conservada. En conclusión, en las áreas bajo aprovechamiento se captura y se mantiene un importante almacén de carbono.

**Palabras clave:** Potencial de captura de carbono, CO<sub>2</sub> acumulado, estructura forestal, biomasa.

## SUMMARY

Forests have the capacity to capture and store carbon, a sustainable management based on the species diversity knowledge and its structure might contribute to mitigate the global climate change. The objectives on this project were to analyze the floristic structure, vertical and horizontal, as well as the stored carbon, The CO<sub>2</sub> accumulation and the carbon capturing potential in three areas under forest management (AFM one, two and three) and one conserved area in Ejido Socorro Rivera, Chihuahua, Mexico. A total of 246 sites of 1,000 m<sup>2</sup> were established in an 866 ha surface, a registration total of seven different families in eight genders and 18 species. AFM two presented the greatest number of families and species, the areas presented a regular diversity, however AFM one registered higher values in species richness according to Shannon index (2.09). The conserved area showed the upmost abundance with 828 individuals per ha<sup>-1</sup> followed by AFM one with 630 individuals per ha<sup>-1</sup>, on these last two, *Pinus durangensis* presented greater abundance and higher basal area.

In order to obtain the stored carbon values and the accumulated CO<sub>2</sub>, we used the volume, the biomass, the wood density, the biomass factor and the carbon percentage from the species. The conserved area presented the most carbon stored with 27.7 MgCCA ha<sup>-1</sup>, followed by AFM one with 22.1 MgCCA ha<sup>-1</sup> as well as the highest CO<sub>2e</sub> accumulation on both areas 121.9 MgCCA ha<sup>-1</sup> and 97.3 MgCCA ha<sup>-1</sup>. *Pinus durangensis* presented the highest carbon accumulation and the highest CO<sub>2</sub> on both areas. The tests applied to stored Carbon and accumulated CO<sub>2</sub> by gender on the four areas showed significantly results. The existing volumes, the extraction of pine-oak and the annual increase allowed to estimate the annual carbon capturing potential. The capturing potential was 2,998 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, an average of 3.0 MgC ha<sup>-1</sup>year<sup>-1</sup>. The three AFM areas where wood was extracted indicated the highest carbon capturing potential in compare to the preserved area. In conclusion, harvested forest areas capture and maintain and important carbon storage.

Keywords: Carbon capturing potential, CO<sub>2</sub> accumulation, forest structure, biomass

## 1 INTRODUCCIÓN

Los bosques tienen la capacidad para almacenar y capturar carbono, por lo que un manejo sustentable y adecuado podría contribuir a la mitigación del cambio climático global. Las prácticas de manejo forestal inadecuadas hacen que las zonas forestales sean una fuente de emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (Canadell y Raupach, 2008; Putz et al., 2008; Skutsch y McCall, 2012). Cuando ello ocurre en donde se extrae madera, se limita su potencial para alcanzar balances positivos en las estimaciones de carbono (Griscom et al., 2009). Por el contrario, si el aprovechamiento es adecuado, además de producir madera se reducirían sus emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y se capturaría carbono (IPCC, 2007, Olschewski y Benítez, 2010). Debido a la emergencia que representa el cambio climático (IPCC, 2014), las limitantes metodologías no son razón para retardar la ejecución de estrategias que promuevan acciones para cuidar los almacenes de carbono almacenes de carbono y la captura de CO<sub>2</sub> (Angelsen et al., 2013).

Se utilizaron los datos disponibles del Inventario forestal Ejido Socorro, Rivera, con el objetivo de conocer la estructura vertical y florística, de estos bosques, y su diversidad. Así como conocer el potencial de captura y almacenamiento de carbono que estos bosques pueden representar.

La diversidad se estimó a partir del índice Shannon (H) y el índice de Simpson para describir la diversidad de los bosques manejados y la diversidad que presenta el área conservada, se calculó los índices de valor de importancia se tomaron en cuenta la densidad absoluta (D), dominancia absoluta (C), frecuencia absoluta (F), de estos valores resultaron los parámetros de densidad relativa (DR), cobertura relativa (CR) frecuencia relativa (FR). El análisis de la estructura vertical se determinó por medio del Índice de Pretszch que determina la distribución de las alturas de los árboles, en alturas máximas, medias y bajas.

Para determinar el potencial de captura y almacén de carbono por superficie y especie, se utilizaron metodologías sencillas, que sean utilizado para varios

estudios de investigación, mismas son capaces de generar información confiable y exacta.

En las áreas de manejo forestal a nivel nacional, en la actualidad los servicios que proveen los ecosistemas forestales son tanto o más importantes que los productos maderables. Lo anterior representa un reto para los manejadores forestales, a la vez que ofrece un amplio marco de oportunidades para la creatividad en cuanto a desarrollo de modelos de manejo y de estrategias de gestión de los recursos bajo su responsabilidad, internalizando el valor del bosque en la conservación de la biodiversidad, provisión de servicios hidrológicos y captura de carbono, básicamente (Aguirre, 2015). Al hacer buenas prácticas silvícolas habituales y simples éstas tienden a favorecer un número reducido de especies, sin embargo, la tarea silvícola es complicada, si se pretende armonizar los criterios de sustentabilidad que implican conservar la biodiversidad (Gavilán & Rubio, 2005).

El tener conocimiento sobre la diversidad de especies y estructura del bosque crea un elemento fundamental para el manejo sustentable de los recursos forestales (Gadow, 2007; Jardel, 2010). La diversidad, comúnmente utilizada para describir la diversidad de especies, puede caracterizarse mediante diferentes índices, como los de Margalef (DMg), Shannon-Weiner ( $H'$ ), (Magurran, 1989), el índice de Simpson (D) (Moreno, 2011) y el índice de valores de importancia (IVI), (Treviño et al., 2001), además del índice de distribución vertical de especies de Pretzsch (Pretzsch, 2009). Estos índices poseen características definidas con las cuales se pueden describir, cuantificar y comparar las comunidades forestales.

En el presente estudio se realizó un análisis de diversidad en tres áreas bajo aprovechamiento forestal y una conservada del AMF del Ejido Socorro Rivera, Madera, Chih, utilizando los índices de Shannon (H) y el índice de Simpson (D), así como un análisis de la estructura vertical y horizontal y los análisis ecológicos de abundancia, dominancia, frecuencia e índice de valor de importancia de las especies.

El cambio climático en el mundo, es uno de los problemas ecológicos más severos y es propiciado por el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Es definido como el posible aumento en la temperatura superficial del planeta que se produce como consecuencia de un aumento importante y rápido de las concentraciones en la atmósfera (IPCC, 1995). La causa fundamental del incremento de los GEI es por el uso indiscriminado de combustibles fósiles, demanda de bioenergía entre otros combustibles que han alterado la composición original de la atmósfera, así mismo la deforestación ha contribuido a la liberación del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), Castro et al., (2002); respecto a su contribución mencionan que el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), se ha calculado de 50 a 75%, entre los gases traza, la concentración de este gas en la atmósfera ha aumentado de 280 ppm (partes por millón) en el año 1750, a 379 ppm en el 2004, y continúa incrementándose a una tasa anual mayor a 1 ppm (Epstein and Rogers, 2004; NETL, 2004; Rosalino et al 2007).

La población en el mundo ha provocado disturbios que contribuyen al deterioro de los ecosistemas (Dhillon & Von Wuehlisch, 2013) coadyuvando a la pérdida y degradación de la biodiversidad del planeta, la erosión de suelos, cambios en los patrones de evapotranspiración, contaminación de mantos acuíferos entre otros fenómenos ambientales (Bolin, 1986; Wilson, 1999; Cherrill y McClean, 1995; Krysanova et al., 1998; Mander et al., 1998). Autores Citados por Ordóñez et al 2001. El aumento de temperatura ha propiciado el interés por buscar estrategias de mitigación mediante captura de carbono (C). Jiménez et al. (2009) mencionan que el fenómeno natural podría mitigar estabilizando las concentraciones de CO<sub>2</sub> por medio de los ecosistemas forestales. En este sentido Pompa M. (2018). Sustenta que los bosques tienen la posibilidad de mitigar los GEI por medio de la captura de carbono a través del proceso fotosintético, en diferentes biomas conocidos como sumideros, a pesar de ser, actualmente, fuentes netas de emisión de GEI. Los árboles en particular, asimilan y almacenan grandes cantidades de carbono durante toda su vida (Masera, 1996; Ordóñez, 1998 y 1999). La capacidad de fijar el carbono por los ecosistemas forestales aun es desconocida, ya que no se cuenta con

procedimientos definidos para su estimación, se sabe que esta capacidad varía en función de la composición florística, la edad y la densidad de la población de cada estrato por comunidad vegetal (Schulze et al., 2000. Citado por Franco et al 2007), sin embargo, aún falta mucho por investigar respecto a esta variación.

En muchos estudios se ha empleado la biomasa de los árboles para estimar su contenido de carbono, a través de la multiplicación de la cantidad disponible en una determinada superficie por un factor que va desde 0,40 hasta el 0,55. Sin embargo Pompa, et al (2017) menciona que las estimaciones para el cálculo de carbón pueden ser más precisas y va a depender de aplicar el factor correcto de concentración de carbono (C) para diferentes especies y tejidos del bosque en lugar del, a menudo asumido, 50% de carbono contenido.

El mismo autor menciona que el conjunto de datos referentes a la composición de carbono ayudará a determinar si el uso de la suposición generalizada del 50% de contenido de C es aplicable para los bosques mexicanos. Los servicios que proveen los ecosistemas forestales deben contemplar no sólo los sistemas de cosecha sostenible, sino la provisión permanente de los servicios que estos brindan. En la presente investigación se analizarán las diferentes características de la estructura forestal, los resultados del inventario forestal y el contenido de carbono acumulado. Considerando como premisa que, en un área de producción forestal, el carbono generado durante el aprovechamiento de una anualidad (Área de corta) se compensa por el carbono acumulado dado el incremento en volumen (captura de CO<sub>2</sub>) e (ICA) de las áreas de manejo forestal, manteniendo el balance entre el carbono emitido y el almacenado en tasa cero.

### **1.1 HIPOTESIS**

1. El manejo silvícola y aprovechamiento forestal que se aplican en el Ejido Socorro Rivera mantienen la biodiversidad, composición, estructura y rendimiento sostenido del bosque.
2. Las áreas productivas de los bosques manejados en forma sustentable contribuyen significativamente a la captura de CO<sub>2</sub> al almacenamiento de carbono.

### **1.2 OBJETIVO GENERAL**

Analizar los servicios ambientales que presta un área bajo manejo forestal considerando su estructura florística, vertical y horizontal, así como el contenido de carbono del predio y las posibilidades de almacenamiento por área de manejo.

### **1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Caracterizar la estructura florística vertical, horizontal y el Índice de Valor de Importancia en un área de aprovechamiento forestal y determinar los efectos del manejo forestal.
2. Determinar el contenido de carbono y el equivalente en bióxido de carbono de un bosque templado frío.



#### **1.4 JUSTIFICACIÓN**

En la actualidad los bosques templados enfrentan un problema ambiental grave; desde el último cuarto del siglo XX, la tasa de modificación de la cubierta vegetal se ha incrementado considerablemente, la desforestación y la degradación forestal son factores importantes en el cambio climático global, ya que se sabe que producen emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), se valoró la tasa de deforestación de 1976 a 2000 y fue estimada en 0,25% anual. Investigaciones de organismos internacionales relacionados con el tema concluyen que los bosques podrían resultar en un sumidero neto de carbono durante los próximos cien años, permitiendo reducir de 20 a 50% de las emisiones netas de dióxido de carbono a la atmósfera, ya que a través del proceso fotosintético tienen la capacidad para almacenar y capturar carbono, es por ello que un buen programa de manejo sustentable y adecuado podría contribuir a la mitigación del cambio climático global. Además, es importante la promoción de acciones para cuidar los almacenes de carbono y la captura de  $\text{CO}_2$  mediante la producción de madera, considerada como un almacén que puede reducir las emisiones de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera y promover el secuestro de este gas.

## 2 ANTECEDENTES

### 2.1 Caracterización estructural

Se han desarrollado estudios sobre la caracterización estructural y diversidad arbórea y arbustiva en bosques de pino-encino, de los cuales están el de García *et al.*, 2005 que desarrollaron un estudio en la sierra de Quila donde analizaron y compararon comunidades arbóreas distribuidas por tipo de suelo en composición, estructura y diversidad.

Jiménez *et al.*, 2001. Hicieron un análisis de la estructura horizontal y vertical para el conocimiento sobre las diversas características estructurales en los bosques multicohortales en el norte de México.

López *et al.*, 2017. Evaluaron la composición y la diversidad de las especies forestales en bosques templados en la zona este del estado de Puebla (centro de México).

Quispe (2010). Realizó un análisis estructural horizontal y vertical de dos tipos de bosques concesionarios en la región Madre de Dios, Perú, con la finalidad de realizar planes de desarrollo para aprovechamientos maderables y estudios de impacto acorde a la realidad.

Zarco. (2010). Describió la estructura vertical y horizontal de la vegetación arbórea, estimó valores de importancia estructural, así como determinó la composición florística, riqueza y diversidad de especies arbóreas en cuatro unidades de muestreo establecidas al azar en el Parque Estatal Agua Blanca, municipio de Macuspana, estado de Tabasco.

Zacarías *et al.*, (2011). Describen la composición, estructura y diversidad de la vegetación presente en el cerro El Águila, Michoacán.

## 2.2 Cambio climático Global

Una evidencia científica internacional abrumadora señala que desde 1750 el planeta está experimentando un calentamiento neto, y que durante el presente siglo continuará calentándose a consecuencia de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) producidas por la acción humana, en particular la procedente del consumo de petróleo y carbón. Este es, sin duda, el problema más grave en el campo ambiental y, según muchas autoridades, la mayor amenaza mundial en términos absolutos. El cambio climático es global, por lo tanto, las soluciones también lo tienen que ser. La Convención Marco de Cambio Climático y su Protocolo de Kyoto fueron los primeros pasos, pero se consideraron tímidos e insuficientes frente a la magnitud del problema. Los acuerdos que se malcasaron en el contexto de estos tratados en la Cumbre de Copenhague que tuvo lugar en diciembre de 2009 debieron ser más ambicioso, ajustándose a un mundo multipolar con los nuevos poderes de China, India y Brasil. (Rodríguez Becerra M. y Henry Mance. 2009).

Rodríguez. L, R. *et al.* 2006, también mencionan que la actividad humana en gran proporción ha causado el cambio climático, y que lo seguirá causando durante el presente siglo, es el consumo de combustibles fósiles, en particular petróleo y carbón, que emite dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). El mecanismo mediante el cual el  $\text{CO}_2$  y otros gases producen el calentamiento global y se le conoce como efecto invernadero. El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) no es el único gas de efecto invernadero. Además del  $\text{CO}_2$  los siete principales GEI son: 1) el metano ( $\text{CH}_4$ ); 2) el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ); 3) los fluorocarbonados ( $\text{CCL}_2\text{F}_2$ ); 4) los hidrofluorocarbonados ( $\text{CCl}_2\text{F}_2$ ); 5) el perfloroetano ( $\text{C}_2\text{F}_6$ ); el 6) hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ); y 7) el vapor de agua. (Rodríguez, B. M. y Henry M. 2009)

La parte proporcional que representan diferentes GEI antropogénicos. El  $\text{CO}_2$ , del uso de combustibles fósiles con el 57% mientras que la deforestación y la degradación de biomasa representa el 17 %, el metano 14% y finalmente gases –F con 1%.

Los países informan sobre sus emisiones y absorciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) procedentes de todos los sectores a través de los Inventarios Nacionales de GEI (INGEI), presentados a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), de conformidad con los acuerdos de política internacional sobre el clima y las directrices desarrolladas por el grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, siglas que corresponden a las del término en inglés). El sector agrícola representa un desafío único para los compiladores del inventario nacional, especialmente en los países en desarrollo, debido a dificultades significativas en compilar y actualizar regularmente las estadísticas nacionales para la agricultura, la silvicultura y el uso de la tierra —el primer paso necesario para la preparación de las estimaciones nacionales de GEI. La capacidad limitada para identificar y recolectar datos de actividad fiables y cuantificar emisiones por las fuentes y absorciones por sumideros, en particular en los países en que la agricultura y las actividades del uso de la tierra son un componente clave de la economía nacional y un conductor de empleo, además, podría dar lugar a un acceso limitado al financiamiento climático internacional de importancia para el desarrollo rural, tales como las actividades del programas REDD+ (Reducción de Emisiones de Carbono causadas por la Deforestación y la Degradación de los Bosques) y las acciones nacionales de mitigación apropiadas NAMA (National Appropriated Mitigation Actions, siglas correspondientes al termino en inglés). Hoy en día se menciona que la concentración GEI actual en la atmósfera del CO<sub>2</sub> a nivel global ha crecido desde la época preindustrial, de 280 partes por millón (ppm) a 387 ppm en 2009. Esta concentración excede el rango natural de concentración de CO<sub>2</sub> en los últimos 600.000 años, que ha variado entre 180 y 300 ppm, en el muy largo plazo.

### 2.3 Fijación del Dióxido de Carbono en Bosques (CO<sub>2</sub>)

En el ámbito internacional y México se han iniciado estrategias para la captura de CO<sub>2</sub> como forma de mitigar su incremento en la atmósfera. Una forma eficiente y natural es por medio de los bosques, ya que capturan, fijan y almacenan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre.

El carbono existe en la atmósfera de la Tierra principalmente en forma de gas llamado dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). En la atmósfera hay 750 gigatoneladas de carbono. La concentración atmosférica total de estos gases de efecto de invernadero (GEI) ha estado aumentando en décadas recientes, contribuyendo al calentamiento global. La Tierra tiene la capacidad de absorber el  $\text{CO}_2$ , pero es una capacidad limitada. “Sumideros naturales” como los océanos, la vegetación, el suelo y los depósitos subterráneos pueden absorber  $\text{CO}_2$ . Los bosques y otros tipos de vegetación, que se desarrollan en los continentes y del medio marino “absorben el  $\text{CO}_2$ ” mediante el proceso de la fotosíntesis, uno de los procesos metabólicos de los que se valen las células para obtener energía. Es un proceso complejo, mediante el cual los seres vivos poseedores de clorofila y otros pigmentos, captan energía luminosa y transforman el agua y el  $\text{CO}_2$  en compuestos orgánicos reducidos (glucosa y otros), liberando el oxígeno.

El problema ahora es que cada vez más una parte mucho mayor de dióxido de carbono se deposita en la atmósfera. Como se sabe, una parte de la emisión del  $\text{CO}_2$  es de origen natural y parte de esas emisiones es capturada por los sumideros naturales, lo que permitió la estabilidad de la concentración de ese gas en la atmósfera a largo plazo. El problema actual radica en el gran incremento de las emisiones de Gases de Efecto de Invernadero (GEI) como consecuencia de la acción humana, y en el hecho de que los sumideros naturales no están en capacidad de capturar una gran parte de ese aumento.

El papel que juegan los bosques en el ciclo del carbono es crucial para mantener los niveles bajos de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera, para poder mantener saludablemente los ecosistemas y la diversidad biológica que se asocia en todos los ecosistemas del mundo. Una cuestión clave de los bosques en que participan en gran medida como los sumideros de  $\text{CO}_2$  es la permanencia de dicho carbono almacenado. Las cantidades de  $\text{CO}_2$  absorbidas por un sumidero, por ejemplo, un bosque, pueden volver a la atmósfera si esa formación vegetal desaparece por cualquier circunstancia. Las causas más comunes de la disminución de los reservorios en los que se encuentra almacenado el carbono son las plagas, las enfermedades, los

aprovechamientos (extracción de madera o recogida de cosecha, por ejemplo) y los incendios forestales. Debido a estos eventos, parte del CO<sub>2</sub> previamente absorbido, y almacenado como carbono en los reservorios, sería reemitido a la atmósfera de nuevo.

Teniendo en cuenta la cuestión de la permanencia, el ciclo que sigue el carbono en los ecosistemas vegetales es el siguiente (Figura 1) : cuando la actividad de la vegetación en la respiración (En el paso 1) se produce la absorción de CO<sub>2</sub>, que, a través de la fotosíntesis, entrará a formar parte de la planta en forma de carbono orgánico. Cuando se da la precipitación foliar, la caída de ramas, etc., caen al suelo, se da la acumulación de detritus o material combustible y hay una incorporación del carbono al suelo desde la vegetación (COS – Carbono Orgánico del Suelo) (el paso 2), Pero también, como parte del ciclo del carbono, se producen emisiones, es decir, pérdidas de carbono acumulado en el suelo por mineralización, actividad de los microorganismos descomponedores del suelo. (Paso 3) y también emisiones por la propia respiración de la vegetación (para mantenimiento y formación de nuevos tejidos por la vegetación) y emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (paso 4). Por último, la mayor fuente de emisiones de las formaciones vegetales se produce por retirada de carbono por eliminación de la vegetación (cosecha, aprovechamiento forestal, incendio, etc.) (paso 5) . Si la cantidad de CO<sub>2</sub> absorbida por las actividades 1 y 2 es mayor que la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida por las actividades 3, 4 y 5, la formación vegetal (ya sea bosque, cultivo, matorral.) será un sumidero de carbono. Si ocurre lo contrario, las emisiones serán mayores que las absorciones y el ecosistema será una fuente de CO<sub>2</sub>. Fuente: IPCC adaptada (2003)

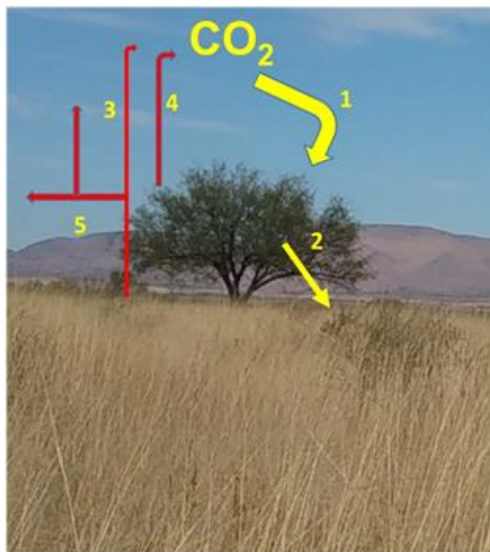


Figura 1. Ciclo del carbono Fuente: Elaboración propia.

## 2.4 Reservorios de Carbono

El manejo forestal sustentable y las plantaciones forestales se pueden considerar como un reservorio de carbono- La idea de este tipo de acciones es “absorber” carbono de la atmósfera a través del proceso natural por el cual los árboles en crecimiento van fijando carbono en su biomasa. Hay varios riesgos que se asumen en esta estrategia para la “reducción” de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera. En primer lugar, no hay certeza científica acerca de la capacidad de absorción de los bosques o plantaciones en crecimiento. En segundo lugar, no es seguro que estas plantaciones realmente “mantengan” luego el carbono almacenado, es decir actúen como “reservorios” de carbono una vez llegados a la madurez. Hay demasiadas incertidumbres a afrontar. Se espera que el propio calentamiento global provoque la muerte de muchos bosques y en consecuencia la emisión del carbono almacenado hacia la atmósfera. Otro riesgo alto es la posibilidad de incendios que puedan ocurrir liberando también el CO2 acumulado. Por estas razones es importante distinguir entre “sumideros” y “reservorios”; y entre

los “reservorios en la biosfera” y los “reservorios en la litosfera”. Los reservorios en la biosfera siempre están en riesgo de correrse a la atmósfera por la propia dinámica del ciclo de carbono. Los reservorios en la litósfera en cambio (como ocurre con el petróleo o el gas natural) han permanecido millones de años almacenados y puede preverse con seguridad que no ingresarán en la atmósfera, salvo que se los extraiga y se los queme.

## **2.5 Concentración de carbono en especies de interés forestal.**

Los bosques son los almacenes más importantes del mundo, y son responsables de la mayor parte de los flujos de carbono entre la tierra y la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración. Aproximadamente el 90% de la biomasa acumulada en la tierra se encuentra en los bosques en forma de fustes, ramas, hojas, raíces y materia orgánica. El CO<sub>2</sub> atmosférico es incorporado a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis. Este CO<sub>2</sub> participa en la composición de todas las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse (follaje, ramas, raíces y tronco). Al crecer, éste incrementa su follaje, ramas, flores, frutos y yemas de crecimiento (que en conjunto conforman la copa) así como su altura y el grosor de su tronco. La copa necesita espacio para recibir energía solar sobre las hojas, lo que da lugar a que las copas de los árboles compitan por esta energía y, a su vez, los troncos, al ir aumentando su diámetro y altura, alcancen un tamaño aprovechable en términos comerciales, pudiéndose extraer productos elaborados como muebles y tablas para casas. Estos productos finales tienen un tiempo de vida determinado, después del cual se degradan aportando CO<sub>2</sub> al suelo y a la atmósfera. Durante el tiempo en que el CO<sub>2</sub> se encuentra constituyendo alguna estructura del árbol (y hasta que es enviado nuevamente al suelo o a la atmósfera), se considera almacenado.

## **2.6 Manejo forestal**

El aprovechamiento forestal en México ha evolucionado desde esquemas de explotación de bosques en grandes concesiones forestales a través de paraestatales, hasta la silvicultura actual, donde el aprovechamiento se realiza a



través de servicios técnicos forestales, previa elaboración de planes de manejo forestal (FAO, 2004, citado por INIFAP, 2007), los cuales contienen sistemas y/o métodos silvícolas que deben aplicarse.

#### 2.6.1 Métodos de manejo

El Método de Desarrollo Silvícola (MDS) es de tipo intensivo que contempla como método de regeneración de árboles padres o semilleros, así como la aplicación de tratamiento silvícolas como: cortas de liberación, corta de regeneración, cortas de aclareo y otros tratamientos complementarios (SARH, 1984; Aguilar, 1992; citado por Castelán, 2003 y Romero, sf), y el Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares(MMOBI) es de tipo extensivo que se basa en la aplicación de dos tratamientos silvícolas los cuales son: Selección individual: este tratamiento se aplica sobre arbolado maduro, mal conformado, bifurcado, dominado, rayado y plagado que no se ubican en grupos respetando la intensidad de corta propuesta que va del 30 al 40% de las existencias. Selección en grupos: la aplicación de este tratamiento se da cuando, según las características de la masa, es necesaria la liberación de la misma por la abundante regeneración que existe; así mismo, por la presencia de plagas o brotes. De este modo, en forma compacta, si existen un número de árboles maduros juntos, se trata de no sobrepasar la intensidad de corta programada (Sánchez, 2000)

#### 2.7 Métodos de estimación de biomasa aérea

El cálculo de la biomasa es un medio para cuantificar la cantidad de CO<sub>2</sub> que puede ser liberado a la atmósfera, o extraído y fijado en los bosques (Clark y Clark, 2000; Navar, 2009). Sirve como parámetro para la planificación del aprovechamiento maderable al determinar la productividad de los bosques (Kauffman *et al.*, 2009). Asimismo, es la base para el estudio de elementos biogeoquímicos como el nitrógeno (Basuki *et al.*, 2009; Navar-Chaidez, 2010), y también es un indicador de la cantidad de materia prima disponible para combustible, como una fuente renovable de energía (Gomez-Garcia *et al.*, 2013). La cantidad total de materia

orgánica aérea presente en los árboles incluye hojas, ramas, tronco y corteza, y su conjunto se define como biomasa aérea (Garzuglia y Saket, 2003).

La medición de la biomasa se puede realizar por diferentes métodos como destructivos y no destructivos.

#### 2.7.1 Método destructivo

Al respecto Díaz-Franco (2007), mencionan que la técnica del método de estimación de biomasa aérea es el más común método destructivo, el cual consiste en la cosecha de cierto número de árboles para separarlos por componentes (fuste, ramas, follaje, corteza y raíces) y obtener muestras (probetas) respectivas para determinar el peso fresco y después colocarlos en estufas de secado hasta conseguir el contenido de biomasa seca y relacionarla con alguna de sus variables fáciles de medir (diámetro basal al nivel del suelo, diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total) a través de ecuaciones de regresión que es una técnica conocida como alometría, la cual se refiere al estudio del cambio de proporción de varias partes de un organismo como resultado de su crecimiento (King, 2005). El método destructivo es el más preciso, pero implica gran cantidad de recursos y tiempo, además de que surgen problemas para extrapolar los datos a grandes áreas (Figueroa, 2010).

#### 2.7.2 Método no destructivo.

Es un método utilizado mediante ecuaciones matemáticas que permiten determinar la biomasa de cada árbol, a partir de variables de fácil medición como diámetro normal, diámetro basal, altura total, longitud de copa, la edad y el incremento de anillos de crecimiento para obtener valores de volumen, biomasa aérea, biomasa radical a través de ecuaciones alométricas o factores de corrección (FAO, 2009). Este método genera bajos costos; los cuales pueden tener validez local o regional, generada para una especie o grupo de especies (Schroeder et al., 1997), también tiene la ventaja de requerir menos tiempo y esfuerzo. Su uso se justifica en áreas muy grandes y cuando no hay suficientes recursos para realizar un muestreo destructivo (Hidalgo et al., 1990; Sala y Austin, 2000). Asimismo, se puede estimar

la biomasa a través del volumen del fuste, utilizando la densidad básica para determinar el peso seco y un factor de expansión para determinar el peso seco total (biomasa total del árbol) (Brown, 1997).

Otro de los métodos que actualmente se utiliza para el cálculo de la biomasa es el uso de sistemas de información geográfica, que es a través de la teledetección, estos miden la cantidad de microondas, radiación infrarroja que es reflejada o dispersada por la vegetación, para relacionarlas, mediante ecuaciones, con variables como el área foliar, el cierre de copas, la altura y la fracción de sombra (Aguirre, 2007, FAO, 2009). Sin embargo, algunos autores señalan que existen limitantes por la heterogeneidad de los bosques, pero cuando la vegetación en su mayoría es uniforme como en las plantaciones forestales; o con una baja diversidad de especies se vuelven herramientas valiosas que ahorran tiempo y costos (Figuerola, 2010; Hall *et al.*, 2001).

### 2.7.3 Método tradicional

Es uno de los métodos más utilizados y recomendados para estimar biomasa y está basado en volumen comercial, (a partir de información derivada de inventarios forestales), densidad de la madera y factor de expansión de la biomasa (FEB). La cual se puede aplicar en bosques densos, secundarios o maduros (correspondiente a climas húmedos y semiáridos) (Brown, 1997a), la ecuación para el cálculo de la biomasa se expresa a través de siguiente manera:

$$BA = VC * D * FEB$$

Donde:

BA = Biomasa aérea ( $t\ ha^{-1}$ )

VC = Volumen comercial ( $m^3\ ha^{-1}$ )

D = Promedio de la densidad de la madera ponderando en base al volumen verde y pesos seco ( $t\ m^{-3}$ )

FEB = Factor de expansión de la biomasa (relación entre la biomasa aérea secado en horno de los árboles y el volumen comercial de la biomasa secada en horno), sin dimensión.

#### 2.7.4 Factor de expansión de biomasa

Es una de las formas que se utiliza para determinar el contenido de Carbono y es mediante factores de expansión de biomasa (FEB) y carbono (FEC), donde (Gracia et al. 2004) define estos factores como: parámetros que transforman el volumen fustal por árbol, en densidad de biomasa y carbono por árbol, para cada tipo de vegetación. Estos factores normalmente se aplican con el interés de reducir costos y tiempo, así como hacer aproximaciones (Husch et al., 2003). Consisten en utilizar los volúmenes de madera calculados en los inventarios forestales con los denominados FEB. Estos FEB se obtienen a través de la densidad de la madera para cada especie: se estima la biomasa arbórea y posteriormente, con otro factor de conversión se transforma la densidad en Carbono (Návar, 2009; Silva-Arredondo y Návar-Cháidez, 2009).

#### 2.8 Investigaciones relacionadas al tema Biomasa y Carbono

Ordoñez y HJ (2001) Estimaron el almacenamiento de carbono en un bosque manejado de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán, donde se generaron dos escenarios uno de 50 a 80 años y el segundo escenario se consideró todo que se extrae del bosque en un tiempo de vida de 100 años, manteniendo el turno original de 50 años. Para el cálculo de captura del carbono utilizaron un modelo O2Fix para Windows Ver. 1.2., obteniendo como resultado al término del turno (50 años) la captura potencial de carbono para el bosque de Nuevo San Juan (NSJ) es de 1.5 millones de tC, para una superficie de 8,870 ha del género *Pinus*. En el largo plazo (250 años) esta captura se estabiliza en 1.9 millones de tC, equivalentes a 217 tC/ha<sup>-1</sup>.

Rodríguez et al., (2008) Estimaron el contenido de carbono presente en cada componente aéreo y radicular en el bosque tropical subcaducifolio en la reserva de la biósfera. Para la estimación de la biomasa, se multiplicó volumen individual por especie por la densidad básica donde se ajustó un modelo y como resultado se estimó más de 136.9 t ha<sup>-1</sup> de biomasa almacenada en los fustes, ramas y hojas de los árboles del BTS. En hojarasca, renuevos y necromasa se obtuvieron 19.5,

1.8 y 1.4 t ha<sup>-1</sup> de biomasa respectivamente. En la concentración de carbono total de cada componente aéreo se calculó mediante equipo de Solids TOC Analyze donde el BTS se obtuvo más de 94.6 tC ha<sup>-1</sup> en los componentes aéreos y radicular, considerando que la biomasa seca en general tiene 50% de carbono.

Díaz *et al.*, (2007) Por medio de ecuaciones alométricas estiman la biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. Et Cham utilizando como variable diámetro normal (DN), derribaron un total de 25 árboles *P. patula* para el cálculo de la biomasa aérea total, se ajustaron dos modelos, el primer modelo fue  $Y = b * X^k$ , donde  $Y$  es la biomasa aérea (kg),  $X$  es el DN (cm),  $b$  y  $k$  son los parámetros de la función, y el segundo  $\ln(Y) = \ln(b) + k \ln(X)$  donde  $Y$ ,  $X$ ,  $b$  y  $k$  tienen el mismo significado que en la ecuación (1), y  $\ln(Y)$ ,  $\ln(b)$  y  $\ln(X)$  son los logaritmos naturales de  $Y$ ,  $b$  y  $X$ , respectivamente. Como resultado el ajuste del modelo generó un ( $R^2 = 0.98$ ) y el DN de los árboles muestreados varió en un rango de 6,7 a 64,1 cm, y su biomasa de 7,62 a 2741,76 kilogramos. Para el cálculo del carbono sólo se seleccionaron cinco árboles y se utilizó la siguiente expresión  $CCC = BTC * \%C$ , donde  $CCC$  es el contenido de carbono por componente (fuste, ramas y follaje; expresado en kg),  $BTC$  es la biomasa total del componente (kg) y  $\%C$  es el porcentaje de carbono del componente determinado directamente en el laboratorio, obteniendo como resultado para el componente fuste 49,26%, para las ramas 49,47% y para el follaje 52,21%.

Díaz *et al.*, (2016) Utilizaron ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *añile* obtenidas mediante un método no destructivo. Para el cálculo de biomasa total, el árbol se dividió por componentes (ramas, hojas y fuste limpio) en cada componente de la copa se utilizó la siguiente fórmula  $B = (Pf - (Pf * CH\%))100$ , Donde:  $B$ = biomasa en peso seco;  $Pf$ = Peso fresco;  $CH\%$ = contenido de humedad en porcentaje y en fuste limpio se obtuvo con la siguiente fórmula  $BF = DM(1/4\pi(DAP)^2 * AFl * Ffp)$ . Donde:  $BF$ = biomasa del fuste (Mg);  $DM$ = densidad de la madera de la especie (Mg m<sup>-3</sup>);  $DAP$ = diámetro a la altura del pecho (m);  $Afl$ = altura de fuste limpio (m);  $Ffp$ = factor de forma promedio de la especie. El contenido de carbono se determinó mediante la siguiente expresión  $CCC = BTC * \%C$  Donde:

CCC= contenido de carbono del componente; BTC= biomasa total del componente (kg); (%) C= porcentaje de carbono del componente. Sin embargo para generar las ecuaciones alométricas de biomasa y carbono se emplearon dos modelos: uno lineal y uno exponencial, expresados de la siguiente manera: Modelo 1:  $Y = B_0 + B_1X_i$   $i=1, 2, 3...n$  Donde: Y= biomasa (Mg); X= DAP (cm) y  $B_0$  y  $B_i$  son los parámetros del modelo y modelo 2:  $Y = b X^k$  Donde: Y= biomasa (kg); X= DAP (cm); y b y k son los parámetros de la función.

Gómez *et al.*, (2011) Ajustaron un modelo alométrico para estimar la biomasa aérea total por componente a partir de la variable DAP en doce árboles de *Quercus magnoliaefolia* Née, el modelo que utilizaron fue  $Y=bX^k$ , donde Y es la biomasa aérea (kg), X es el DAP (cm) y b y k son los parámetros estadísticos estimados, el resultado del porcentaje de biomasa de cada uno de los componentes fue el siguiente :el fuste tuvo un valor máximo de 74.7 %, las ramas con un valor máximo de 40.3 % y para follaje un valor máximo de 14.1 % . Para la determinación del contenido de carbono de los doce árboles eligieron seis para determinar el porcentaje de carbono para cada uno de sus componentes (fuste, ramas y follaje) donde se multiplicó el valor de la biomasa total del componente (kg) por el porcentaje de carbono del componente determinado en el laboratorio, el resultado en porcentaje del contenido de carbono por componente fue para fuste de  $46.29 \pm 0.27$ , para las ramas de  $46.83 \pm 0.22$  y en el follaje de  $48.31 \pm 0.07$ .

Silva y Návar. (2009) Estimaron el contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea de bosques templados, donde derribaron 88 árboles de los cuales 14 fueron de *Pinus durangensis*, 15 de *Pinus arizonica*, 16 de *Pinus leiophylla*, ocho de *Pinus teocote*, cinco de *Pinus engelmannii*, 19 de *Pinus cooperi* y 11 de *Quercus spp*. Los resultados obtenidos mediante el factor de expansión de carbono promedio estimado en la ecuación de biomasa para el género *Pinus spp* fue de  $0.42 \text{ Mg C} \cdot \text{m}^{-3}$  donde el factor mínimo y máximo fue de 0.31 y  $0.50 \text{ Mg C} \cdot \text{m}^{-3}$ . Para el género *Quercus* este valor fue de  $0.57 \text{ Mg C} \cdot \text{m}^{-3}$  y sus valores mínimo y máximo fueron de 0.32 y  $0.82 \text{ Mg C} \cdot \text{m}^{-3}$ .

Álvarez y Rubio (2013) Utilizaron el modelo de simulación CO2FIX v.3.2 con el fin de determinar la línea base de Carbono en un bosque de pino-encino de la Sierra Juárez, Oaxaca, México, como resultado obtuvieron que la línea base para el bosque de pino-encino, alcanza su valor máximo (236.6 Mg·ha<sup>-1</sup>) a la edad de 53 años, como resultado de la adición de C presente en el C en la biomasa viva del árbol (208.7 Mg·ha<sup>-1</sup>) y C orgánico en el suelo (27.9 Mg·ha<sup>-1</sup>).

Muñoz *et al.*, (2004) Estimaron la biomasa y el dióxido de carbono que hay acumulado en las masas de *Pinus sylvestris* y *Quercus pirenaica* de los montes «Matas de Valsaín» y «Pinar de Valsaín» *por clases diamétricas; para la obtención de biomasa de cada una de las especies se ajustó un modelo que relaciona los kilogramos de materia seca con el diámetro normal, el modelo fue:  $Lg(Y) = a + b Lg(X)$* , donde: Y = biomasa de cada fracción, en kilogramos de materia seca. X = diámetro normal, en centímetros. a, b = parámetros de la regresión. Como resultado obtuvieron en el sitio Matas 255.786 t de biomasa de las cuales corresponde para *Pinus sylvestris* 195.982 t , *Quercus pyrenaica* 59.804 t de biomasa aérea al año, para el sitio Pinar fue un total de biomasa aérea 1.564.567 t, que corresponde para *Pinus sylvestris* 1.559.020 t , *Quercus pyrenaica* 5.547t .Para el cálculo de CO<sub>2</sub> se multiplicaron los valores modulares de biomasa por el contenido en carbono y por 3,67, los resultados que se obtuvieron de CO<sub>2</sub> total fijado fue para el sitio Matas 463.878 t, de los cules corresponde para *Pinus sylvestris* 359.625 t , *Quercus pirenaica* 104.253 t, para el sitio Pinar un total 2.870.472 t que corresponde *Pinus sylvestris* 2.860.802 t y *Quercus pirenaica* 9.670 t.

### 3 MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 UBICACIÓN Y DESCRIPCION DEL ÁREA DE ESTUDIO

##### 3.1.1 Localización

La investigación se llevó acabo en el Ejido Socorro Rivera, que se localiza en la Sierra Madre Occidental a 11.5 km al NO de la cabecera Municipal de Madera, Chihuahua. Se encuentra en las coordenadas centrales 776000 E y 3242000 N, Zona 12N, a una altura de 2,500 msnm (Figura 2). El predio tiene una superficie total de 4,503 ha de las cuales dispone para aprovechamiento forestal de 2,419 ha (Ramos *et al.*, 2015)



Figura 2. Ubicación del área de estudio Ejido Socorro Rivera



### 3.1.2 Clima

El tipo de clima que predomina en el área de estudio de acuerdo con Köppen adaptado para México por García (1981) es de tipo Semifrío, subhúmedo con verano fresco largo (**Cb'(w2) x'**), con una temperatura media anual entre 5°C y 12°C, la temperatura del mes más frío está entre -3°C y 18°C, y la temperatura del mes más caliente bajo 22°C. La precipitación en el mes más seco es menor de 40 mm; con lluvias de verano y un porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual.

### 3.1.3 Geología

De acuerdo con información de las Cartas de Geología del INEGI H12-9, H12-12 y H13-13 escala 1:250, 000, la mayor parte de las rocas que se encuentran en el predio son procedentes de las eras del cenozoico y del mesozoico, de los períodos terciario, cuaternario y cretácico inferior, ocupando las riolita-tobas ácidas la mayor parte de la superficie con (2,135.40 ha), encontrando los basaltos en segundo lugar con (1461.37 ha), limonitas areniscas ubicadas en zonas de captación artificial de agua con una superficie (383.77 ha), estas últimas cuatro pertenecen a las rocas sedimentarias y por último los suelos aluviales con una superficie (523.56 ha) ubicados en la parte Noreste Figura 3.

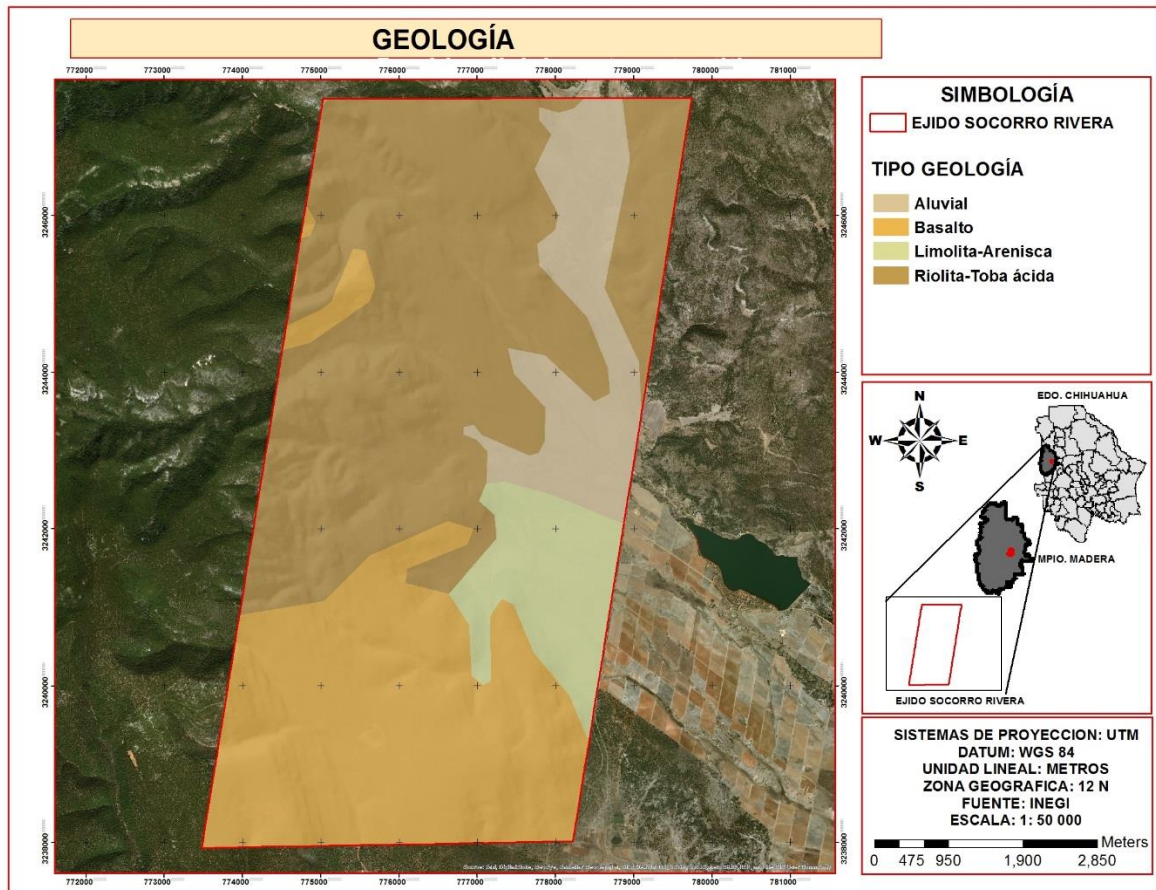


Figura 3. Geología

### 3.1.4 Edafología

La carta de Edafología del INEGI (2010) Serie II escala 1: 250,000 los tipos de suelos que predominan son tres: 1.- Litosol es la unidad de suelo que ocupa la mayor superficie (4,416.15 ha) y se ubica en las zonas de transición de bosque de encino a pino. En segundo lugar, están los suelos Luvisol ortico se localizan en la parte Sur-este y en tercer lugar Fluvisol éútrico ubicados en la parte Este del predio, estos dos últimos suelos ocupan superficies muy pequeñas de (48.58 y 39.73 ha) Figura 4.

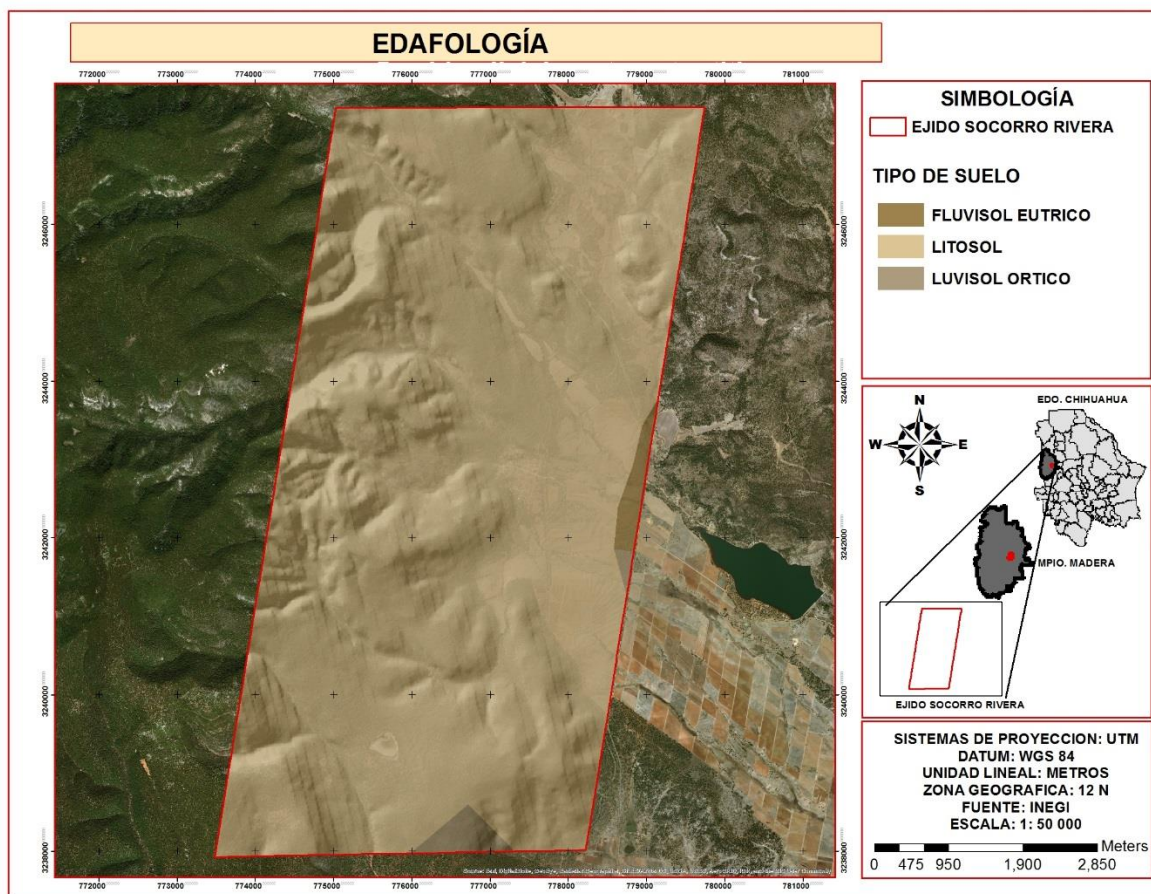


Figura 4. Tipo de suelos

### 3.1.5 Hidrología

El ejido se encuentra en la región Hidrológica RH09 Sonora Sur, en la cuenca B Río Yaqui, y en la Subcuenca b Río Papigochi. A causa de la orografía las corrientes fluyen del oeste (con mayor altitud 2,400 msnm) al este (menor altitud 2,000 msnm) (Figura 5)



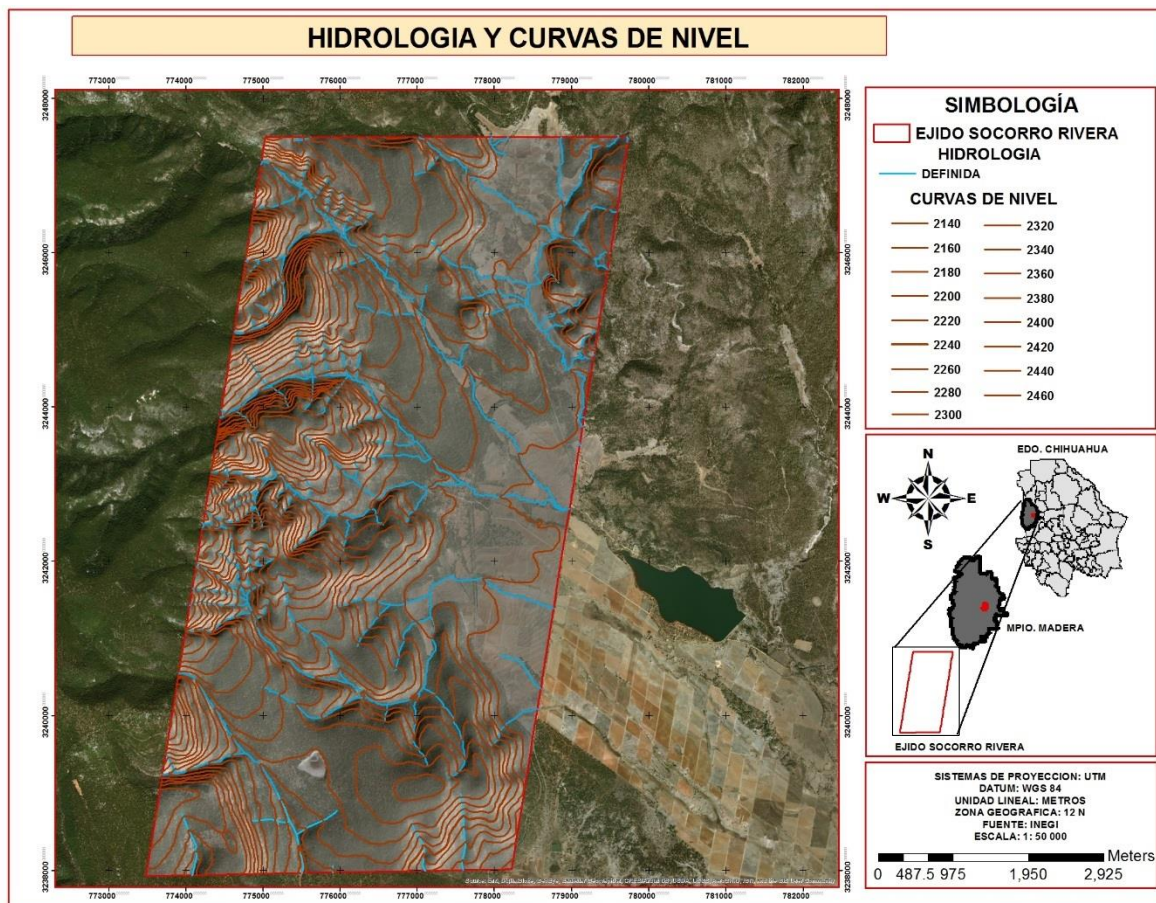


Figura 5. Corrientes Hidrológicas y curvas de nivel, elaboración propia basada (INEGI Red Hidrográfica escala 1: 50,000 edición 2.0 2010)

### 3.1.6 Características Biológicas

#### 3.1.6.1 Vegetación

Las comunidades vegetales más importantes del Predio están compuestas por bosques mezclados con especies del género *Pinus* y *Quercus* (INEGI serie V 2011), además de algunas especies arbustivas, siendo los tipos de vegetación más representativos los siguientes: Figura 6:

El bosque de Pino está constituido por especies arbóreas de fuste recto, de talla baja y mediana, altura de 8 a 25 m., excepcionalmente más de 30 m., hoja acicular en fascículos, perenne, caracterizado por la dominancia del género *Pinus* y su distribución es amplia en todas las cadenas montañosas del país (Martínez, 1992).

El bosque de Pino-Encino lo encontramos en altitudes que van desde los 1600 hasta los 2300 msnm. Para esta localidad destaca la presencia de *Pinus arizonica*, *P. durangensis*, *P. leiophylla*, *P. ayacahuite*, *P. engelmannii*, *Quercus rugosa*, *Q. sideroxyla*, *Arbutus arizonica* y *Juniperus deppeana*. (INEGI, 2004)

El bosque de Encino formado por individuos del género *Quercus* (encino, roble) en muy diferentes condiciones ecológicas, que abarcan desde cerca del nivel del mar hasta los 3100 m (Rzedowski, 1978) sin embargo, la mayoría de estas zonas se ubican entre los 1200 y 2800 msnm (INEGI, 2009).

El bosque bajo-abierto se caracteriza -de acuerdo con su fisonomía-, por presentar el dominio de árboles de porte bajo, en general menores de 6 m, los cuales se encuentran muy separados unos de otros, entre los que destacan algunas especies de *Quercus*, sobre todo *Q. emoryi* (encino prieto), *Q. chihuahuensis* (encino amarillo), *Q. arizonica* (encino azul) y en la zona ecotonal hacia el bosque mixto también está *Pinus cembroides*; el estrato herbáceo está compuesto por gran variedad de gramíneas, en donde destacan: *Bouteloua hirsuta* (navajita velluda), *Panicum bulbosum*, *Lycurus phleoides* (zacate lobero), zacates bajos amacollados como: *Muhlenbergia rigida*, *M. montana* y algunos arbustos espinosos como *Mimosa sp.*

El pastizal inducido está constituido por gramíneas que surgen cuando es eliminada la cubierta vegetal original. Este pastizal puede aparecer como consecuencia de desmontes en cualquier tipo de vegetación; también puede establecerse en áreas agrícolas abandonadas o bien, en terrenos que se incendian con frecuencia.

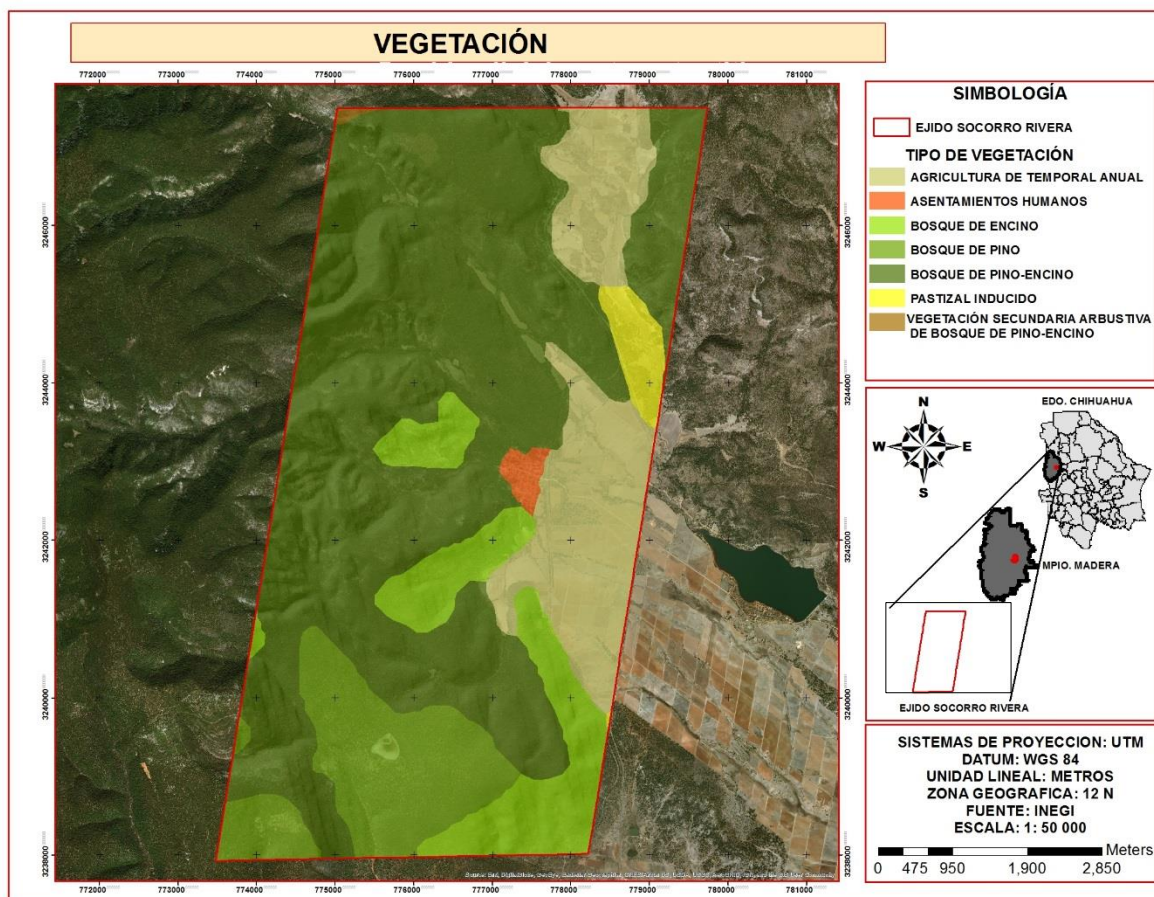


Figura 6. Tipos de vegetación

### 3.1.6.2 Uso del suelo y manejo del predio

En el ejido se cultivan cereales y existe ganadería extensiva que utiliza las áreas de pastizal. La mayor parte del este predio tiene una vocación forestal y se encuentra bajo manejo, dependiendo de las condiciones de las unidades de manejo se utilizan dos métodos de manejo forestal, el Método Desarrollo Silvícola (MDS) y el Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI).

## 3.2 DISEÑO DE MUESTREO

Para el levantamiento de los rodales, se eligió un diseño de muestreo sistemático simple, considerando a las unidades de manejo como los estratos. Menciona Freese (1969; citado por Ramos et al.,2015) que la gran mayoría de los inventarios forestales se han hecho por medio de alguna forma de muestreo sistemático,



indicando que la localización de las unidades de muestreo en el campo es frecuentemente más fácil y más económica.

### 3.2.1 Tamaño de muestra

El muestreo consistió en el establecimiento de 246 sitios de 1000 m<sup>2</sup> en una superficie total de 866 ha, con una intensidad de muestreo del 3%. Se analizaron únicamente tres áreas de manejo forestal (AMF). El AMF uno (2015) está formada por 33 rodales y tiene una superficie total de 278 ha<sup>-1</sup>. De las cuales se aplicó una intensidad de muestreo de 2.9%; en el AMF dos (2016) cuenta con 18 rodales se calculó una superficie de 240 ha<sup>-1</sup>, aplicando una intensidad de muestreo 2.25%, finalmente la AMF tres (2017) con 36 rodales en una superficie total de 337 ha<sup>-1</sup> y la intensidad de muestro fue de 2.56%. En la conservada 2015 se establecieron 26 sitios en una superficie de 27 ha<sup>-1</sup>. Ver figura 7.

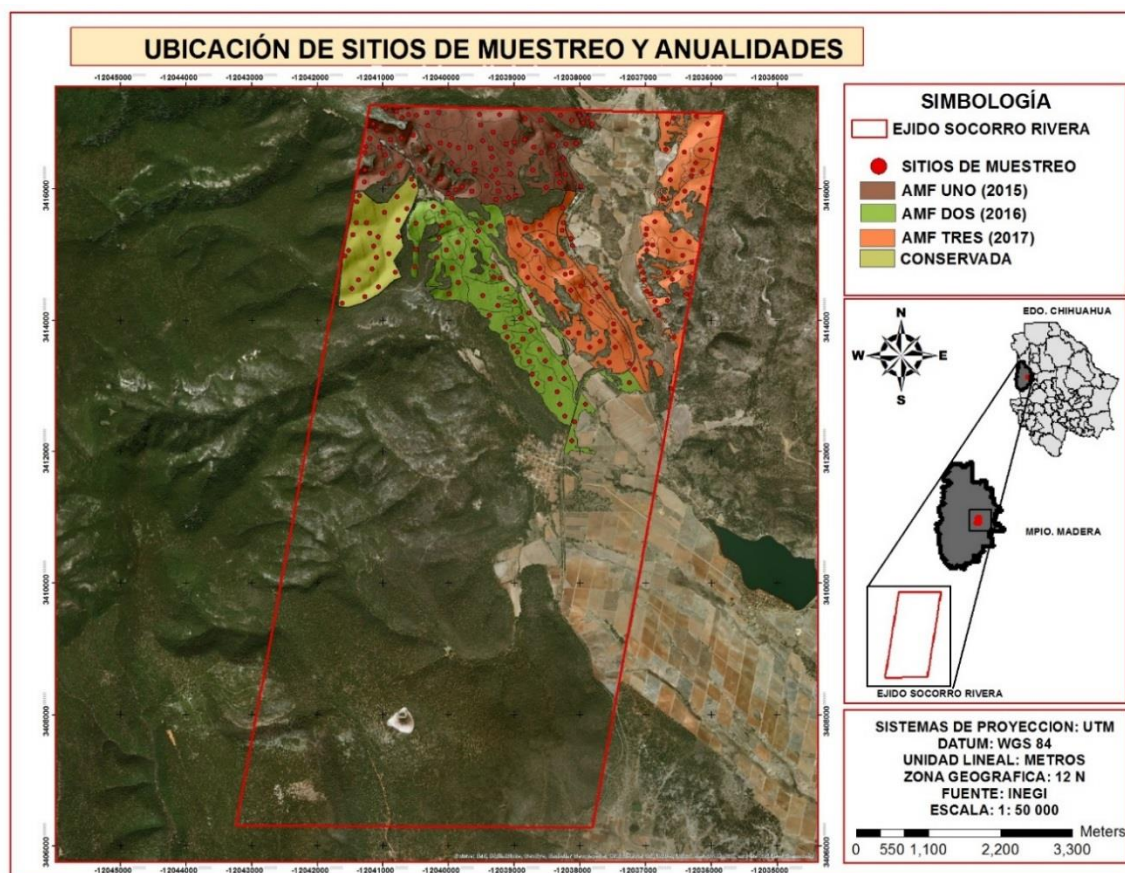


Figura 7. Distribución de los sitios de muestreo.

### 3.3 REGISTO DE LA INFORMACIÓN

El levantamiento y registro de la información fue realizado por el personal técnico de la Consultoría Ambiental, Agropecuaria, Forestal y Financiera responsable de elaborar el programa de Manejo Forestal Maderable. Se registraron en campo para cada individuo la especie y la variable dasométrica, altura (h), diámetro normal (DAP), área de copa y edad.

### 3.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Se capturo en la base de datos la información registrada en campo utilizando el programa MS-Excel. Con el fin de cumplir el primer objetivo específico se realizó el análisis de la estructura florística, vertical y horizontal de las superficies a aprovechar en los años 2015, 2016 y 2017, utilizando como referencia una superficie que quedara excluida del aprovechamiento. En un segundo análisis se realizó el carbono almacenado en cada una de las áreas y considerando el incremento previsto se calculó las posibilidades de captura para cada área.

#### 3.4.1 Análisis de la estructura

##### 3.4.1.1 Diversidad alfa

La diversidad alfa se estimó a partir del índice Shannon (H) y el índice de Simpson (D) (Moreno, 2011) tomando en cuenta dos parámetros, el de entropía ( $H'$ ) y el número efectivo de especies ( $D$ ), que permite tener una interpretación fácilmente comparable de la magnitud de los datos (Jost, 2006; Moreno *et al.*, 2011) estos índices se calcularon mediante el programa PAST 3.16.

El índice de Shannon & Wiener ( $H'$ ), se define de la siguiente manera:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i * \ln(p_i)$$

$$p_i = n_i/N$$



Dónde:  $s$  es el número de especies presentes,  $N$  es el número total de individuos,  $n_i$  es el número de individuos de la especie  $i$ , Mientras que el índice  $D$  se define como:  $\exp(H')$ .

El siguiente índice de Simpson se expresa de la siguiente manera:

$$\lambda = \sum_{pi} 2$$

Dónde:  $p_i$  = abundancia proporcional de la especie  $i$ , es decir, el número de individuos de la especie  $i$  dividido entre el número total de individuos de la muestra.

De las mediciones del índice de Simpson expresa la dominancia o concentración relativa de los valores de importancia en la primera o primeras pocas especies, mientras que el índice de Shannon-Wiener expresa la relativa equidad o igualdad de los valores de importancia a lo largo de toda la secuencia. Se sugiere un nuevo índice, que expresa la equidad como el número de especies por ciclo logarítmico de la secuencia valor-importancia (Olthoff et al., 2016)

#### 3.4.1.2 Índice de valores de importancia

Mediante el análisis de la información se derivaron los parámetros básicos estructurales de la vegetación como son la densidad absoluta ( $D$ ), considerando los individuos de la especie por área muestreada, la dominancia absoluta ( $C$ ), que considera la cobertura de las especies entre el área muestreada y la frecuencia absoluta ( $F$ ), que representa el número de sitios donde aparece la especie en relación al número total de sitios. De ellos resultaron los valores relativos en porcentaje de dichos parámetros: densidad relativa ( $DR$ ), cobertura relativa ( $CR$ ) y frecuencia relativa ( $FR$ ) con esto tres últimos se determinaron los valores del índice de valor de importancia ( $IVI$ ) de cada especie por anualidad (Treviño et al., 2001).

#### 3.4.1.3 Índice de Pretszch

Siguiendo la metodología presentada por Rubio et al., (2014) se clasificó la distribución vertical de las especies en tres diferentes zonas de altura: zona I: 80-100% de la altura máxima de la población, zona II: 50-80%, zona III: 0-50%.

Posteriormente se calculó el índice de distribución vertical de especies (A), el cual cuantifica la diversidad de especies y su ocupación en el espacio vertical en la población. Utilizando la siguiente expresión:

$$A = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^z pij * \ln pij$$

Dónde: S= número de especies presentes; Z= número de estratos de altura; pij = porcentaje de especies en cada zona y se estima mediante la siguiente ecuación  $pij = n_{i,j}/N$ ; donde  $n_{i,j}$ = número de individuos de la misma especie, en la zona (j) y N= número total de individuos.

### 3.4.2 Análisis del contenido de carbono almacenado y posibilidades de captura

#### 3.4.2.1 Estimación de volumen

Con las variables dasométricas obtenidas en campo, se realizó la determinación volumétrica de las especies, utilizando el modelo de Fang (Fang *et al.*, 2000) para coníferas y latifoliadas con el siguiente modelo:

$$Vtacc = a_0 D^{a_1} H^{a_2} + a_3 D^2$$

Dónde: Vtacc= Volumen total árbol con corteza;  $a_0$ = Parámetro ajustado; D= Diámetro normal a 1.30 m;  $a_1$ = Parámetro ajustado; H= Altura total;  $a_2$ = Parámetro ajustado;  $a_3$ = Parámetro ajustado;  $D^2$ = Diámetro al cuadrado.

Se calculó el ICA en volumen para cada rodal y se sumó para toda el área que comprende la anualidad. De la misma manera se restó el volumen aprovechado en el año correspondiente para determinar las existencias residuales considerando los incrementos corrientes anuales para cada unidad de manejo en las diversas anualidades.

#### 3.4.2.2 Estimación de biomasa aérea

La biomasa se estimó con un método no destructivo, utilizando la ecuación de Brown (1997).

$$B = Vtacc * D * FEB$$

## CONTENIDO DE CARBONO Y DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE LA VEGETACION EN UN ÁREA BAJO MANEJO FORESTAL, CHIHUAHUA, MÉXICO

Dónde: B= Biomasa aérea; V<sub>tacc</sub>= Volumen total árbol con corteza; D= Densidad de la madera; FEB= Factor de expansión de biomasa.

Se utilizó la densidad básica reportada para cada una de las especies que se menciona en el cuadro 4, mientras que para el factor de expansión de biomasa se utilizó 0.75 mgm<sup>3</sup> para coníferas y 1.07 mgm<sup>3</sup> para latifoliadas (Silva y Návar, 2009).

Cuadro 1. Densidad de la madera (g/cm<sup>3</sup>) por especie, señalando la fuente.

Nombre científico	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Fuente
<i>Alnus firmifolia</i>	0.37	Miles y Smith,2009
<i>Arbutus xalapensis</i>	0.47	Pompa <i>et al.</i> ,2017
<i>Fraxinus spp</i>	0.68	CPF (2004)
<i>Juniperus deppeana</i>	0.48	Miles y Smith,2009
<i>Pinus arizonica</i>	0.43	Sotomayor, 2008
<i>Pinus ayacahuite</i>	0.36	Vázquez <i>et al.</i> ,2015: Goche <i>et al.</i> ,2000
<i>Pinus durangensis</i>	0.47	Silva y Navar,2012
<i>Pinus engelmannii</i>	0.44	Salazar, 2002
<i>Pinus leiophylla</i>	0.47	Silva y Navar,2012
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0.49	Ordoñez <i>et al.</i> , 2015
<i>Quercus arizonica</i>	0.78	Conafor, 2008
<i>Quercus coccolobifolia</i>	0.61	de la Paz y Dávalos, 2008
<i>Quercus crassifolia</i>	0.66	de la Paz y Dávalos, 2008
<i>Quercus durifolia</i>	0.68	Sotomayor, 2003:de la Paz y Dávalos, 2008
<i>Quercus rugosa</i>	0.69	de la Paz y Dávalos, 2008
<i>Quercus sideroxylla</i>	0.61	de la Paz y Dávalos, 2008
<i>Quercus viminea</i>	0.78	Conafor, 2008
<i>Prunus serotina</i>	0.63	CPF (2004)

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.2.3 Estimación del contenido de carbono almacenado (CCA)

Con los valores obtenidos de biomasa por individuo, se procedió a determinar las cantidades de carbono almacenado en cada árbol por especie, tomando la concentración de porcentaje de contenido de carbono 0.531% para las especies latifoliadas y para coníferas de 0.521% (Koch, 1989). Para la obtención de carbono almacenado se utilizó la siguiente expresión:

$$CCA = (\%CC) * B \text{ Ecuación (1)}$$

Dónde: CCA= Contenido de carbono almacenado; %CC= Porcentaje de contenido de carbono de la especie; B= Biomasa de la especie.

#### 3.4.2.4 Estimación del equivalente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) acumulado

Para valuar el CO<sub>2</sub> se utilizó la siguiente ecuación (2) que permite estimar el equivalente de dióxido de carbono por los distintos tipos de especies de latifoliadas y coníferas (IPCC, 2003):

$$\text{Cantidad de CO}_2 \text{ acumulada} = (V_{tacc} * D * BEF) * (1+R) * FC * 44/12 \quad \text{Ecuación (2)}$$

Dónde: V<sub>tacc</sub>= Volumen total árbol con corteza; D= Densidad de la madera; BEF= Factor de expansión de biomasa; 1+R= Relación entre biomasa aérea y raíz; FC= Factor de conversión de tonelada de materia seca (tms) a tonelada de Carbono (Mg.ha-1C), fijado en 0,5 tC/1tms; 44/12: Proporción molecular para pasar de carbono (C) a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Para la densidad de la madera y factor de expansión, se utilizaron los valores mencionados para coníferas y latifoliadas. Rodríguez *et al.*, 2009 documentan que, para estimar la relación entre biomasa aérea y radicular, se utiliza como factor constante el 20% para ambos tipos de especies.

#### 3.4.2.5 Estimación del potencial de captura de CO<sub>2</sub>

El potencial de captura de CO<sub>2</sub> (PCC) se calculó para las tres AMF y el área conservada (866 h); para ello, se usó el Incremento Corriente Anual (ICA) de cada una de las AMF y conservada (Ramos, 2015). Así mismo por las complicaciones para determinar la edad de los encinos y, en general, de las latifoliadas, el ICA sólo se estimó para el género Pinus, y se usó el valor de densidad de 0.47 gcm<sup>3</sup> (Silva y Návar 2012). Acorde con Ordóñez, 2008 el cual propone la siguiente ecuación (3) para el PCC

$$\text{PCC} = \text{ICA} * \delta * \text{CC} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde: PCC = Potencial de captura de carbono (MgCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) ICA = Incremento corriente anual (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) δ = Densidad de la madera para

el género *Pinus* ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) CC = Contenido de carbono de  $0.512 \text{ Mg}^{-1}$  .5 valor por defecto, (IPCC, 2003).

Los resultados se concentraron en una hoja de cálculo. Para el registro de las estimaciones en toneladas métricas de carbono equivalente por año ( $\text{MgCO}_2 \text{ año}^{-1}$ ) unida en la que operan los mercados de carbono, se multiplicaron los valores expresados en  $\text{MgC año}^{-1}$  por 3.67 ( Rüginitz *et al.*, 2009).

#### 3.4.2.6 Estimación del almacén de carbono.

El almacén de carbono se estimó para los géneros *Pinus*, *Quercus* y *Juniperus* a partir de los volúmenes de madera (existencias reales  $\text{m}^3$  VTA) en las tres AMF y conservada. El valor de densidad usado para *Pinus* y *Juniperus* fue de  $0.47 \text{ Mgm}^3$  (Silva y Návar 2012) y el *Quercus*  $0.684 \text{ Mgm}^3$  (Ordóñez *et al.*, 2013), para el contenido de carbono se utilizó el valor por defecto de 0.5 (IPCC, 2003). Ecuación (4)

$$\text{CA} = \text{VM} * \delta * \text{CC Ecuación (4)}$$

Dónde: CA = Carbono almacenado en madera de *Pinus* y *Quercus* ( $\text{MgCO}_2$ ), VM = Volumen de madera de *Pinus*, *Quercus* y *Juniperus* (Existencias reales  $\text{m}^3$  VTA),  $\delta$  = Densidad de la madera por género ( $\text{gcm}^3$ ), CC = Contenido de carbono (0.5 valor por defecto, IPCC, 2003).

Las existencias reales se cambiaron a carbono equivalente ( $\text{MgCO}_2\text{e}$ ), multiplicando por 3.67 ( Rüginitz *et al.*, 2009).

## **4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 Estructura florística**

Se registraron un total de siete familias distribuidas en ocho géneros y 18 especies, la familia Fagáceae y Pinaceae son las que mostraron más especies con 8 y 6 respectivamente. En AMF dos fue donde se presentó el mayor número de familias y el mayor número especies. (Cuadro 2)

## CONTENIDO DE CARBONO Y DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE LA VEGETACION EN UN ÁREA BAJO MANEJO FORESTAL, CHIHUAHUA, MÉXICO

Cuadro 2. Especies arbóreas presentes en las tres áreas bajo manejo forestal (AMF) y conservada en el área estudio.

Nombre común	Familia	Género y especie	Autor	Anualidad
Aile	Betulaceae	<i>Alnus firmifolia</i>	Fern.	AMF uno y dos
Madroño	Ericaceae	<i>Arbutus xalapensis</i>	Kunth	Conservada, AMF uno, dos y tres
Táscate	Cupressaceae	<i>Juniperus deppeana</i>	Steud.	Conservada, AMF uno, dos y tres
Pino blanco	Pinaceae	<i>Pinus arizonica</i>	Engelm.	Conservada, AMF uno, dos y tres
Pino real, acolote	Pinaceae	<i>Pinus ayacahuite</i>	C. Ehrenb. ex Schltdl.	Conservada, AMF uno, dos y tres
Pino durango	Pinaceae	<i>Pinus durangensis</i>	Martínez	Conservada, AMF uno, dos y tres
Pino apache	Pinaceae	<i>Pinus engelmannii</i>	Carrière	AMF uno, dos y tres
Ocote chino	Pinaceae	<i>Pinus leiophylla</i>	Schiede ex Schltdl. & Cham.	Conservada, AMF uno, dos y tres
Capulín	Rosaceae	<i>Prunus serotina</i>	Ehrh.	AMF uno y dos
Pinabete	Pinaceae	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	(Mirb.) Franco	AMF uno
Encino blanco	Fagaceae	<i>Quercus arizonica</i>	Sarg.	Conservada, AMF uno, dos y tres
Encino roble, Encino verde	Fagaceae	<i>Quercus coccolobifolia</i>	Trel.	Conservada, AMF uno y dos
Encino colorado, Encino chicharrón, Encino hojarasco	Fagaceae	<i>Quercus crassifolia</i>	Bonpl.	Conservada, AMF uno, dos y tres
Encino colorado, Encino laurelillo	Fagaceae	<i>Quercus durifolia</i>	Seemen	AMF uno, dos y tres
Encino de asta, Encino blanco	Fagaceae	<i>Quercus rugosa</i>	Née	Conservada, AMF uno, dos y tres
Encino colorado	Fagaceae	<i>Quercus sideroxyla</i>	Bonpl.	Conservada, AMF uno, dos y tres
Encino blanco, Encino de astas	Fagaceae	<i>Quercus viminea</i>	Trel.	AMF unos y tres
Fresno	Oleaceae	<i>Fraxinus spp.</i>	Lingelsh	AMF dos

AMF uno= Área bajo manejo forestal uno, dos= área bajo manejo forestal dos, tres= área bajo manejo forestal tres

#### 4.1.1 Diversidad alfa

El área de manejo presentó una diversidad regular para cada una de las anualidades (Figura 8), obteniendo valores entre 1.5 y 3 de diversidad de Shannon (Margalef, 1972). Sin embargo, AMF uno se registran valores más altos en riqueza de especies según el índice de Shannon (2.09), en el índice de Simpson las cuatro anualidades presentaron valores cerca 1. Sin embargo, García *et al.*, (2005) reportó valores de diversidad similares a estos, Camacho (2013) presentó valores ligeramente menores en diversidad con respecto a este estudio,

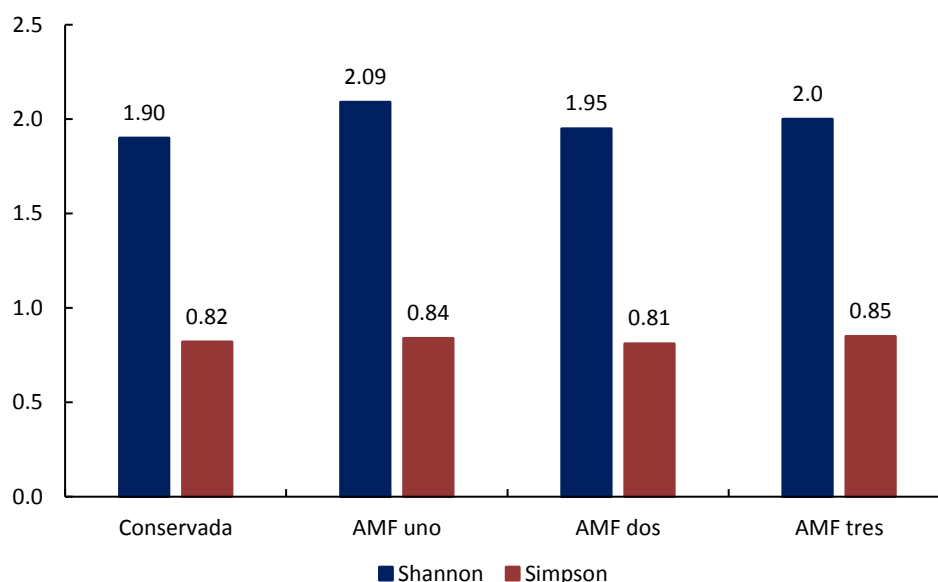


Figura 8. Valores obtenidos de diversidad de Simpson y de Shannon por AMF y conservada.

#### 4.1.2 Índice de valores de importancia

**Abundancia.** Las especies más abundantes en la anualidad conservada fueron *Pinus durangensis* (225 n/ha), *Quercus sideroxyla* (195 n/ha) y *Pinus ayacahuite* (163 n/ha), en la AMF uno el *Pinus durangensis* (167 n/ha) y *Juniperus deppeana* (140 n/ha), para la AMF dos el *Juniperus deppeana* (201 n/ha) y *Pinus engelmannii* (106 n/ha) y por ultimo para la AMF tres la especie más abundante fue *Juniperus deppeana* (148 n/ha). La anualidad que presentó mayor abundancia fue la conservada con 828 individuos por hectárea.



*Dominancia.* Esta hace referencia al área basal en m<sup>2</sup> por hectárea y a la densidad relativa a sus valores relativos por especie (Camacho,2013). La especie que presentó mayor área basal en la conservada y AMF uno fue *Pinus durangensis* (7 y 10 m<sup>2</sup>/ha<sup>-1</sup>, respectivamente), en las AMF dos y tres la especie que destacó con mayor área basal fue *Pinus engelmannii* (5 y 3 m<sup>2</sup>/ha<sup>-1</sup>, respectivamente). De igual manera que la abundancia, la conservada presentó el mayor valor de área basal.

*Índice de valor de importancia (IVI):* Es el resultado de la sumatoria de Abundancia relativa, Dominancia relativa y Frecuencia relativa, mediante los cuales se obtiene el Índice de valor de importancia relativa. La especie con mayor índice de valor de importancia en las cuatro anualidades fue *Pinus durangensis*, con 26, 26, 28 y 16%, respectivamente (Cuadro 3).

# CONTENIDO DE CARBONO Y DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE LA VEGETACION EN UN ÁREA BAJO MANEJO FORESTAL, CHIHUAHUA, MÉXICO

Cuadro 3. Índice de valores de importancia por AMF y conservada.

ESPECIE	Abundancia				Dominancia				IVI			
	Conser- vada	AMF uno	AMF dos	AMF tres	Conser- vada	AMF uno	AMF dos	AMF tres	Conser- vada	AMF uno	AMF dos	AMF tres
<i>Alnus firmifolia</i>	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
<i>Arbutus xalapensis</i>	22	12	6	5	0.3	0.2	0.1	0.1	3	3	4	2
<i>Juniperus deppeana</i>	32	140	201	148	0.5	2.4	2.9	2.4	17	17	5	24
<i>Pinus arizonica</i>	22	26	51	43	1.3	1.3	1.9	2.1	6	6	6	11
<i>Pinus ayacahuite</i>	163	46	7	13	3.5	1.1	0.2	0.3	7	7	16	2
<i>Pinus durangensis</i>	225	167	77	56	10.4	6.8	3.2	3.0	26	26	28	16
<i>Pinus engelmannii</i>	5	35	106	83	0.2	1.2	4.5	3.5	5	5	2	21
<i>Pinus leiophylla</i>	40	23	22	58	1.1	1.0	0.8	2.3	7	7	6	6
<i>Prunus serotina</i>	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	2	2	0	0
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0	1	1	0	0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
<i>Quercus arizonica</i>	66	71	34	85	1	1.7	0.6	1.3	7	7	7	7
<i>Quercus coccolobifolia</i>	2	1	7	0	0	0.0	0.2	0	3	3	0	2
<i>Quercus crassifolia</i>	57	64	24	98	1.1	1.2	0.4	2.1	6	6	6	5
<i>Quercus durifolia</i>	0	4	2	2	0	0.1	0.0	0.1	3	3	0	1
<i>Quercus rugosa</i>	0	0	1	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0
<i>Quercus sideroxyla</i>	195	37	33	2	4.9	1.3	0.8	0.1	5	5	19	5
<i>Quercus viminea</i>	0	4	0	0	0	0.3	0.0	0.0	3	3	0	0
<i>Fraxinus spp.</i>	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
Suma	828	630	573	593	24.5	18.6	15.7	17.0	100	100	100	100

## 4.1.3 Índice de Pretszch

En el análisis de estructura vertical, las especies se distribuyen en tres estratos. El estrato I (alto) para conservada y AMF uno, la especie con mayor altura fue *Pinus durangensis* (26 y 29 m, respectivamente), para el estrato II (medio) *P. durangensis* (23 m, para ambos casos) y para el estrato III (bajo) *Quercus sideroxyla* (13 m, para ambos casos), mientras que para AMF dos y AMF tres en el estrato I (alto) las especies que dominan en altura fueron *Pinus durangensis* (29.4 m, para ambos casos) y *P. arizonica* (26 m, respectivamente), en el estrato II (medio) *P. durangensis* (23 y 20 m, respectivamente) y en el estrato III (bajo) *Juniperus*

*deppeana* con alturas entre 14 y 13 m, respectivamente. La distribución de la abundancia entre los tres estratos por anualidad indica que el área de manejo es cohortal, es decir que predomina un sólo estrato (III) (Figura 9).

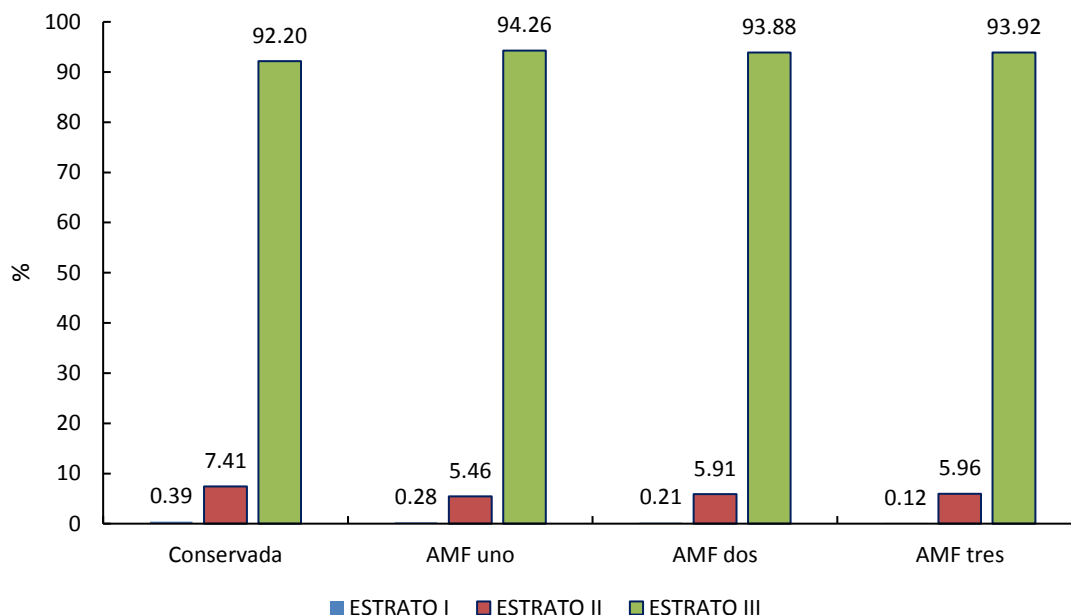


Figura 9. Distribución por estrato altitudinal de las AMF y conservada.

## 4.2 Análisis dasométrico y cálculo del Carbono

### 4.2.1 Categorías diamétricas

Con la información del inventario forestal del AMF se inició el proceso matemático de la misma, mostrando los individuos por categoría diamétricas de cada una de las cuatro anualidades, donde se muestra una tendencia a la heterogeneidad en estos bosques de pino-encino. Cada ilustración en las categorías diamétricas los ubica dentro de los bosques de selección.

En las cuatro anualidades se observa que la mayoría de los géneros de *Pinus* y *Quercus* se presentan en las primeras categorías, y sólo algunos individuos están de manera aislada en las categorías diamétricas mayores. Lo cual nos indica que las AMF uno, dos y tres se ubican en una fase de alto dinamismo por la recuperación que están presentando al tener un aprovechamiento forestal, al tener una cantidad

del 70% en categorías diamétricas de 10-15 cm, un 24% de 20-35 cm y sólo 6% ocupan los árboles maduros con diámetros de 40- 90 cm (Figura 10).

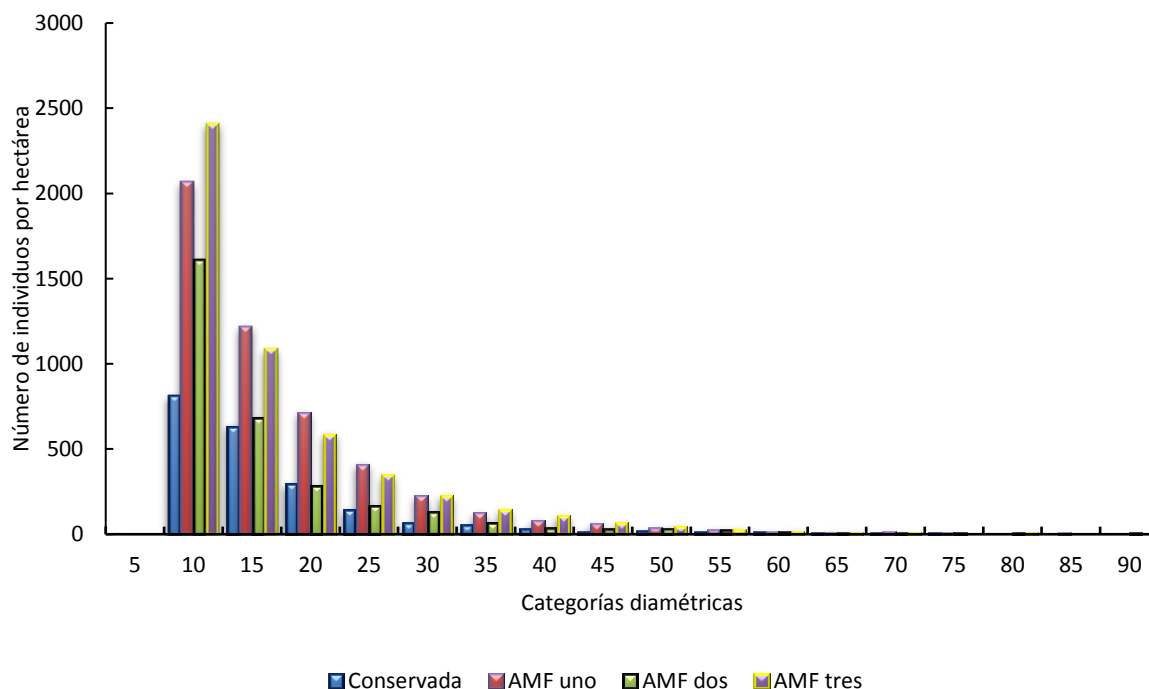


Figura 10. Número de individuos por categoría diamétricas por hectárea en las tres AMF y conservada.

Sin embargo, la conservada presentó las mismas características que las AMF aprovechadas al tener 71 % categorías diamétricas de 5-10 cm, un 26 % con diámetros de 20-35 cm y sólo ocupan el 2% árboles maduros de 40-90 cm (Figura 10). Esta información se compara con estudios que obtuvieron los resultados similares en la reserva de la biósfera el cielo, Tamaulipas, México (Rodríguez et al.,2006: Meza, 2008:).

Las AMF (uno, dos y tres) analizadas, cada una de ellas presentó diferentes tratamientos silvícolas, así como el número de tratamientos por hectárea. Cuadro 4.

**CONTENIDO DE CARBONO Y DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE LA VEGETACION EN UN ÁREA BAJO  
MANEJO FORESTAL, CHIHUAHUA, MÉXICO**

Cuadro 4. Tratamientos silvícolas de cada una de las AMF analizadas.

AMF	Tratamientos Silvícolas	Núm. de tratamientos	Superficie ha <sup>-1</sup>
<b>Uno</b>	CORTA DE REGENERACIÓN	1	15.56
	CORTA DE SELECCIÓN EN GRUPOS	5	94.10
	CORTA DE SELECCIÓN INDIVIDUAL	16	77.82
	CUARTO ACLAREO	2	22.43
	NO CORTA SEGREGACIÓN TOTAL	2	14.01
	SEGUNDO ACLAREO	3	25.05
	TERCER ACLAREO	6	43.33
<b>Total</b>		35	292.30
<b>Dos</b>	CORTA DE REGENERACIÓN	1	13.69
	CORTA DE SELECCIÓN EN GRUPOS	1	6.38
	CORTA DE SELECCIÓN INDIVIDUAL	8	70.61
	CUARTO ACLAREO	4	74.74
	SEGUNDO ACLAREO	1	17.21
	TERCER ACLAREO	3	58.12
<b>Total</b>		18	240.74
<b>Tres</b>	CORTA DE REGENERACIÓN	1	17.45
	CORTA DE SELECCIÓN EN GRUPOS	1	4.30
	CORTA DE SELECCIÓN INDIVIDUAL	25	228.36
	CUARTO ACLAREO	2	14.25
	NO CORTA SEGREGACIÓN TOTAL	2	11.79
	SEGUNDO ACLAREO	3	20.58
	TERCER ACLAREO	4	36.01
<b>Total</b>		38	332.75

Fuente: Cálculos propios con datos del inventario forestal realizado por Ramos *et al.*, (2015).

#### 4.2.2 Volumen y biomasa

En este trabajo se aplicó el modelo Fang para cada una de las especies presentes en las tres anualidades y la conservada del AMF, obteniendo coeficiente de determinación por arriba de  $R^2=98$  (Cuadro 5), lo que significa la confiabilidad con la que este modelo puede generar resultados adecuados y, además, este valor será más confiable a medida que se acerque a 1.

# **CONTENIDO DE CARBONO Y DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE LA VEGETACION EN UN ÁREA BAJO MANEJO FORESTAL, CHIHUAHUA, MÉXICO**

Cuadro 5. Coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) y Parámetro estimados para determinar el volumen de cada una de las especies presentes en el Área de Manejo Forestal (AMF) mediante el modelo Fang de acuerdo con Corral 2014 citado por Ramos et al.,2015.

MODELO DE (FANG,2000) $V_{tacc} = a_0 D^{a_1} H^{a_2} + a_3 D^2$													
MODELOS DE AHUSAMIENTO Y VOLUMEN											ESTADÍSTICOS		
UMAFOR	Esp	N	Parámetros	VALORES							$V_{i_{cc}}$	$d_{i_{cc}}$	
				$a_0$	$a_1$	$a_2$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$p_1$	$p_2$	REMC	R <sup>2</sup>
802	<i>Pinus durangensis</i>	146	Estimación	0.000062	1.947206	0.894551	0.000012	0.000036	0.000032	0.059412	0.647703		
			Error estándar	1.65E-06	0.0118	0.0153	4.63E-07	3.26E-07	4.61E-07	0.00249	0.0286		
			Valor de t	37.2	165.17	58.6	25.59	109.68	68.58	23.89	22.61	0.086	0.98
			p	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	1.744	0.99
	<i>Pinus arizonica</i>	147	Estimación	0.000057	1.897696	1.002687	0.00001	0.000039	0.000032	0.057363	0.690989		
			Error estándar	1.64E-06	0.0129	0.016	3.68E-07	3.48E-07	4.71E-07	0.00202	0.0161		
			Valor de t	34.91	146.97	62.77	27.19	111.37	67.38	28.33	42.94	0.081	0.98
			p	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	1.821	0.98
	<i>Pinus leiophylla</i>	150	Estimación	0.000059	1.965295	0.892133	0.000011	0.000036	0.000031	0.06603	0.565504		
			Error estándar	1.71E-06	0.0153	0.0181	4.17E-07	4.48E-07	4.13E-07	0.00251	0.0262		
			Valor de t	34.42	128.22	49.21	27.08	80.78	75.3	26.36	21.56	0.079	0.98
			p	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	1.892	0.98
	<i>Pinus engelmannii</i>	153	Estimación	0.000064	1.958025	0.883501	0.000011	0.000036	0.000031	0.049802	0.727579		
			Error estándar	1.57E-06	0.0136	0.017	4.47E-07	2.68E-07	5.23E-07	0.00202	0.0206		
			Valor de t	40.8	144.23	51.91	23.95	135.37	59.44	24.63	35.25	0.098	0.98
			p	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	1.843	0.99
	<i>Pinus ayacahuite</i>	151	Estimación	0.000079	1.916102	0.816547	0.00001	0.000032	0.00004	0.053807	0.925484		
			Error estándar	1.51E-06	0.0125	0.0155	3.27E-07	1.51E-07	3.48E-06	0.00176	0.0128		
			Valor de t	52.62	153.62	52.72	30.65	209.68	11.59	30.51	72.54	0.034	0.99
			p	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	1.348	0.99
	<i>Juniperus spp</i>	145	Estimación	0.000081	1.864042	0.850892	0.000014	0.000017	0.000028	0.038756	0.089699		
			Error estándar	2.02E-06	0.00936	0.0147	2.66E-06	1.77E-06	2.14E-07	0.0275	0.00861		
			Valor de t	39.94	199.11	57.79	5.25	9.46	131.57	1.41	10.42	0.012	0.99
			p	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	1.373	0.99
	<i>Quercus sideroxylla</i>	152	Estimación	0.000081	1.922704	0.783213	6.46E-06	0.000014	0.00003	0.020959	0.089384		
			Error estándar	2.15E-06	0.0138	0.0164	1.45E-06	8.63E-07	2.25E-07	0.00319	0.00556		
			Valor de t	37.65	139.5	47.85	4.44	16.44	134.06	6.56	16.08	0.052	0.98
			p	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	1.996	0.98
	<i>Quercus rugosa</i>	152	Estimación	0.000086	1.882935	0.813269	0.000014	0.00002	0.00003	0.066589	0.113656		
			Error estándar	2.12E-06	0.0115	0.0152	6.67E-07	2.69E-06	2.17E-07	0.00852	0.0148		
			Valor de t	40.46	163.08	53.61	21.24	7.61	138.72	7.81	7.67	0.037	0.99
			p	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	1.782	0.99
	<i>Pinus generico</i>	747	Estimación	0.000062	1.934787	0.912065	0.000012	0.000036	0.000032	0.064475	0.630008		
			Error estándar	7.53E-07	0.00601	0.00745	1.98E-07	1.64E-07	2.04E-07	0.00117	0.0124		
			Valor de t	82.45	321.73	122.35	59.47	220.86	155.56	55.19	50.81	0.083	0.98
			p	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	1.812	0.99
	<i>Quercus generico</i>	304	Estimación	0.000084	1.894314	0.808223	0.000014	0.00003	0.000034	0.094818	0.841812		
			Error estándar	1.54E-06	0.00911	0.0114	3.28E-07	1.81E-07	1.43E-06	0.00317	0.0313		
			Valor de t	54.18	207.84	71.06	43.43	166.09	23.46	29.89	26.92	0.045	0.98
			p	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	1.775	0.98

Los resultados estimados con el modelo muestran que la especie *Pinus durangensis* aportó mayor volumen en la anualidad conservada y AMF uno con 65.36 m<sup>3</sup>. ha<sup>-1</sup> y otro con 46.92 m<sup>3</sup>. ha<sup>-1</sup>; así mismo, la anualidad 2015 conservada presentó el mayor volumen de 127.11 m<sup>3</sup>. ha<sup>-1</sup> con respecto a las otras AMF. En la anualidad AMF dos y AMF tres la especie que presentó mayor volumen fue el *Pinus engelmannii* con 31.36 m<sup>3</sup>. ha<sup>-1</sup> y 21.08 m<sup>3</sup>. ha<sup>-1</sup>(Cuadro 6).

En el estado de Tamaulipas en un bosque de niebla mediante un método no lineal la especie *Liquidámbar styraciflua* aportó un volumen con 62 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> en un área de

**CONTENIDO DE CARBONO Y DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE LA VEGETACION EN UN ÁREA BAJO  
MANEJO FORESTAL, CHIHUAHUA, MÉXICO**

reserva (Rodríguez et al., 2006), un volumen similar a esta investigación. Adicionalmente es importante mencionar que este tipo de bosques tiene un papel ecológico ya que contribuye al equilibrio del clima, intercepta el aire húmedo y provoca la precipitación pluvial, así como permite la formación de mantos freáticos que funcionan como importantes reservorios de agua dulce (Granados *et al.*, 2007).

Cuadro 6. Volúmen y biomasa por hectárea de las tres AMF y la conservada.

Especie	Volumen (m <sup>3</sup> . ha <sup>-1</sup> )				Biomasa (MgB. ha <sup>-1</sup> )			
	Conserva da	AMF uno	AMF dos	AMF tres	Conserva da	AMF uno	AMF dos	AMF tres
<i>Alnus firmifolia</i>	0	0.04	0.08	0	0	0.01	0.03	0
<i>Arbusto xalapensis</i>	1.07	0.47	0.33	0.19	0.54	0.24	0.16	0.09
<i>Juniperus deppeana</i>	2.07	7.52	8.28	7.07	0.75	2.71	2.98	2.54
<i>Pinus arizonica</i>	8.79	9.16	14.21	13.92	2.83	2.95	4.58	4.49
<i>Pinus ayacahuite</i>	16.97	5.08	1.05	1.23	5.73	1.72	0.35	0.34
<i>Pinus durangensis</i>	65.36	46.92	21.57	18.14	23.04	16.54	7.6	6.4
<i>Pinus engelmannii</i>	1.36	8.81	31.36	21.08	0.45	2.91	10.35	6.96
<i>Pinus leiophylla</i>	7.17	7.1	5.08	13.14	2.53	2.5	1.79	4.63
<i>Prunus serotina</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0	0.24	0.15	0	0	0.08	0.06	0
<i>Quercus arizonica</i>	3.58	5.87	1.77	3.95	2.99	4.9	1.48	3.3
<i>Quercus coccolobifolia</i>	0.18	0.12	0.58	0	0.12	0.08	0.38	0
<i>Quercus crassifolia</i>	3.38	3.93	1.14	6.62	2.39	2.77	0.8	4.68
<i>Quercus durifolia</i>	0	0.32	0.16	0.22	0	0.23	0.12	0.16
<i>Quercus rugosa</i>	0.05	0.03	0.02	0.01	0.04	0.02	0.01	0.01
<i>Quercus sideroxyla</i>	17.13	5.23	3.24	0.14	11.18	3.42	2.11	0.09
<i>Quercus viminea</i>	0	1.25	0	0.01	0	1.04	0	0.01
<i>Fraxinus spp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Suma</b>	<b>127.1</b>	<b>102.08</b>	<b>89</b>	<b>85.71</b>	<b>52.57</b>	<b>42.12</b>	<b>32.81</b>	<b>33.68</b>

Fuente: Cálculos propios con datos del inventario forestal realizado por Ramos *et al.*, (2015) 2015 C= Anualidad 2015 conservada, 2015 A= Anualidad 2015 aprovechada, Un megagramo equivale a una tonelada.

Para el área bajo manejo forestal de ejido Socorro Rivera se presentó el programa de manejo basado en el inventario realizado en el 2014, éste contempla el aprovechamiento de diez anualidades que se aplicarán entre los años 2015 y 2024. La superficie bajo manejo es de 2,709 ha y se calculó un volumen inicial del género

*Pinus* de 183,073 m<sup>3</sup> vrta, en promedio se prescribe una intensidad de corta de 25%, en donde se removerá un volumen total 51,576 m<sup>3</sup> vrta. Para el género *Quercus* se calculó 38,486 m<sup>3</sup> vrta con una intensidad de corta 38%, donde se removerán 18,144 m<sup>3</sup> vrta, en *Juniperus* 13,007 m<sup>3</sup> vrta con una intensidad de muestreo 31%, y se removerán 18,144 m<sup>3</sup> vrta ver Anexo 1.

El género *Pinus* en las tres AMF fue el que presentó mayor volumen, con respecto a los géneros *Quercus* y *Juníperos*, sin embargo, presentó un valor más alto en el área conservada con un volumen de existencias reales de 99.65 m<sup>3</sup>. ha<sup>-1</sup> (Cuadro 7) y son considerados bajos, con respecto a las existencias reales presentadas Návar (2010) en los bosques templados de Nuevo León.

Cuadro 7. Volúmen total de las existencias reales del género *Pinus*, *Quercus* y *Juníperos* de las tres AMF y conservada

Genero		<i>Pinus</i>		<i>Quercus</i>		<i>Juniperus</i>	
AMF	Superficie (ha <sup>-1</sup> )	Volumen total (m <sup>3</sup> vrta)	Volumen (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Volumen total (m <sup>3</sup> vrta)	Volumen (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Volumen total (vrtam <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )
Uno	278.29	22064.85	79.28	3647.89	13.1	2325.08	8.35
Dos	240.74	18382.61	76.35	1374.98	5.71	2201.46	9.14
Tres	320.95	22172.38	69.08	3439.84	10.71	2238.39	6.97
Conse rvada	27.17	258.70	99.65	63.1	24.7	5.38	2.07

Fuente: Cálculos propios con datos del inventario forestal realizado por Ramos *et al.*, (2015) AMF=áreas de manejo forestal.

Una vez obtenido el volumen por árbol, se inició el procedimiento para estimar la biomasa aérea correspondiente. Se estimó que el área conservada fue la que presentó la mayor densidad de biomasa con 52.57 MgB. ha<sup>-1</sup> de la cual corresponden para el género *Pinus* 35.32 Mg. ha<sup>-1</sup> y para el *Quercus* 17.25 MgB.ha<sup>-1</sup> y las especies con mayor densidad fueron *Pinus durangensis* 23.04 MgB. ha<sup>-1</sup>, seguido del *Quercus sideroxyla* con 11.18 MgB. ha<sup>-1</sup> en la área conservada y 16.54 MgB.ha<sup>-1</sup> en la AMF uno, en las AMF dos y tres la especie que presentó mayor biomasa fue *Pinus engelmannii* con 10.35 MgB. ha<sup>-1</sup> y 6.96 MgB. ha<sup>-1</sup> (Cuadro 6). La densidad de biomasa en este bosque se encuentra en estado de desarrollo, debido



a que ambas anualidades presentaron muy baja densidad y pocos valores altos de cantidad de biomasa aérea.

Otros estudios reportan densidades de biomasa aérea con valores más altos con respecto a esta investigación. En la Sierra Madre Occidental del estado de Durango presentan 130 MgB. ha<sup>-1</sup> (Návar, 2009), en el bosque templado de Nuevo León la cantidad de biomasa aérea promedio para este bosque fue de 74.16 MgB. ha<sup>-1</sup>, reflejando que es un bosque que se encuentra en estado de desarrollo, por las mismas bajas cantidades de biomasa aérea que presenta esta investigación. De acuerdo con la función de densidad Weibull, menciona que las probabilidades de encontrar bosques con densidades de biomasa por arriba de los 100 MgB. ha<sup>-1</sup> y 200 MgB. ha<sup>-1</sup> son de 26% y de 1,6%, respectivamente (Návar, 2010). Sin embargo, la densidad de biomasa aérea para bosques tropicales registra valores de 225 MgB ha<sup>-1</sup> para la Península de Yucatán y 265 MgB. ha<sup>-1</sup> para Veracruz (Cairns et al., 2000), 219.3 MgB. ha<sup>-1</sup> de biomasa aérea en el bosque de pino-encino de la Reserva de la Biósfera el Cielo (Rodríguez *et al.*, 2009).

#### 4.2.3 Contenido de Carbono almacenado (CCA) y Equivalente de CO<sub>2</sub> acumulado

Con los valores de biomasa obtenidos, se procedió a determinar la captura de carbono almacenado para las anualidades antes mencionadas, así como para cada árbol por especie, tomando la concentración de Contenido de carbono (CC) de latifoliadas y coníferas.

En la Figura 11, se presentan los resultados del cálculo del CCA donde se estimó un total de 84.30 MgCCA. ha<sup>-1</sup>, el área conservada fue la que presentó el valor más alto en C con 27.53 MgCCA. ha<sup>-1</sup>, seguido del AMF uno con 22.04 MgCCA. ha<sup>-1</sup>; en un estudio realizado por Navia y Velarde (2002) estimaron 79 MgCCA. ha<sup>-1</sup> para el bosque de pino-encino en la reserva de la Biósfera el cielo, Tamaulipas, México. Sin embargo, Rodríguez *et al.*, 2009 reportaron un valor superior para la misma zona con 100 MgCCA. ha<sup>-1</sup>. En los bosques de coníferas el carbono se distribuye a razón de 50% en parte aérea y en suelo, (Monterroso y Gómez, 2003).

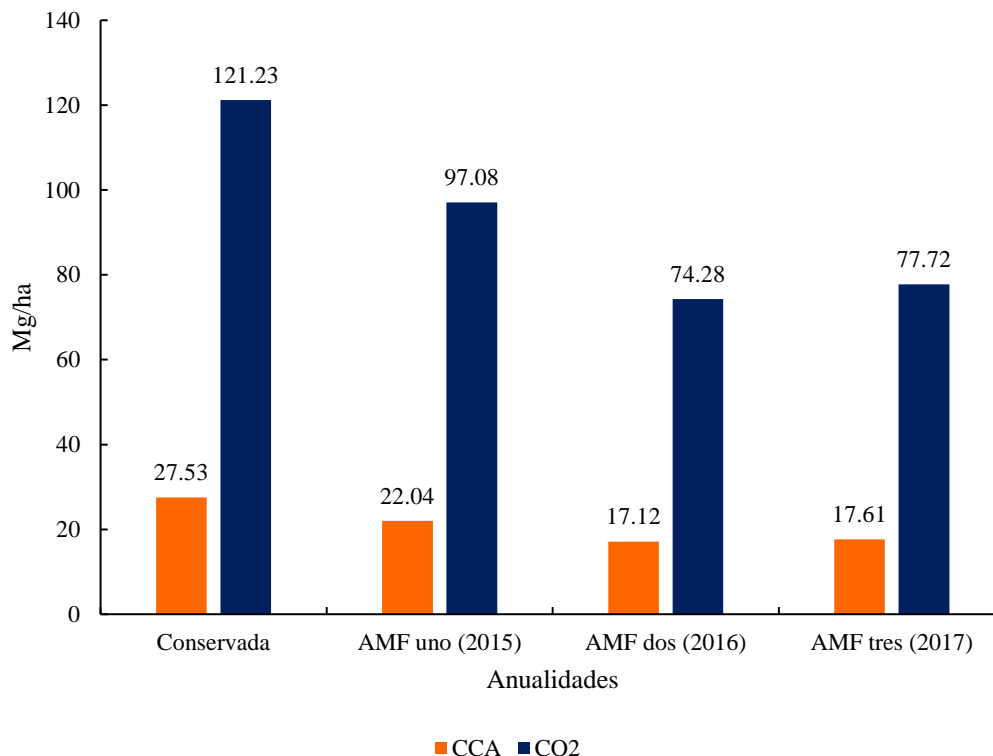


Figura 11. Contenido de carbono almacenado y fijación de CO<sub>2</sub> acumulado por AMF y conservada.

Sin embargo, en la figura 11 se muestra el total de CO<sub>2</sub> acumulado en cada anualidad, dando como resultado que el área conservada es la que reporta una mayor cantidad de CO<sub>2</sub> acumulado que el resto de las anualidades con 121.23 MgCO<sub>2</sub>.ha<sup>-1</sup>, seguido de la AMF uno con 97.08 MgCO<sub>2</sub>.ha<sup>-1</sup>, así como para las AMF dos y AMF tres se obtuvo un total de 74.28 y 77.72 MgCO<sub>2</sub>.ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Es necesario mencionar que cuando se habla de dióxido de carbono almacenado se hace referencia al CO<sub>2</sub> que los bosques primarios, aquellos que han alcanzado su madurez, han absorbido a lo largo de toda su vida y estos lo guardan en su biomasa (Lozano,2007).

En el cuadro 8 se muestran los resultados obtenidos del contenido de carbono almacenado (CCA) y fijación de CO<sub>2</sub> acumulado en toneladas por hectárea por anualidad y especie, en el cual se observa que las especies *Pinus durangensis*, *Quercus sideroxyla* son las que presentaron mayor CCA y fijación de CO<sub>2</sub>

**CONTENIDO DE CARBONO Y DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE LA VEGETACION EN UN ÁREA BAJO  
MANEJO FORESTAL, CHIHUAHUA, MÉXICO**

acumulado en el área conservada, presentando 11.981 MgCCA.ha<sup>-1</sup>, 52.764 MgCO<sub>2</sub>ha<sup>-1</sup>, 5.937 MgCCA.ha<sup>-1</sup>, 26.146 MgCCA.ha<sup>-1</sup>, en la AMF uno fueron las especies *Pinus durangensis* y *Quercus arizonica*, con 8.600 MgCCA.ha<sup>-1</sup>, 37.873 CO<sub>2</sub> t.ha<sup>-1</sup>, 2.599 tC.ha<sup>-1</sup>, 11.448 CO<sub>2</sub>.ha<sup>-1</sup>, en las AMF dos y AMF tres la especie que presentó mayores valores fue *Pinus engelmannii* con 5.381 MgCCA.ha<sup>-1</sup>, 23.700 MGCO<sub>2</sub> .ha<sup>-1</sup> y 3.617 MgCCA.ha<sup>-1</sup> con 15.930 MgCO<sub>2</sub>.ha<sup>-1</sup>.

Cuadro 8. Resumen de CCA y fijación de CO<sub>2</sub> acumulado por AMF, conservada y especie.

Especie	2015 C		AMF uno		AMF dos		AMF tres	
	MgCCA.h a <sup>-1</sup>	MgCO <sub>2</sub> .ha <sup>-1</sup>	MgCCA.h a <sup>-1</sup>	MgCO <sub>2</sub> .h a <sup>-1</sup>	MgCCA.h a <sup>-1</sup>	MgCO <sub>2</sub> .h a <sup>-1</sup>	MgCCA.h a <sup>-1</sup>	MgCO <sub>2</sub> .h a <sup>-1</sup>
<i>Alnus firmifolia</i>	0.000	0.000	0.008	0.034	0.016	0.070	0.000	0.000
<i>Arbutus xalapensis</i>	0.285	1.255	0.126	0.554	0.087	0.382	0.050	0.221
<i>Juniperus deppeana</i>	0.388	1.710	1.410	6.209	1.552	6.836	1.326	5.839
<i>Pinus arizonica</i>	1.474	6.491	1.536	6.767	2.383	10.493	2.334	10.279
<i>Pinus ayacahuite</i>	2.979	13.117	0.892	3.930	0.184	0.810	0.178	0.952
<i>Pinus durangensis</i>	11.981	52.764	8.600	37.873	3.954	16.304	3.326	14.647
<i>Pinus engelmannii</i>	0.233	1.025	1.512	6.657	5.381	23.700	3.617	15.930
<i>Pinus leiophylla</i>	1.314	5.786	1.301	5.729	0.932	4.103	2.409	10.611
<i>Prunus serotina</i>	0.000	0.000	0.001	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0.000	0.000	0.043	0.189	0.029	0.128	0.000	0.000
<i>Quercus arizonica</i>	1.588	6.992	2.599	11.448	0.785	3.458	1.750	7.707
<i>Quercus coccolobifolia</i>	0.062	0.273	0.041	0.180	0.200	0.880	0.000	0.000
<i>Quercus crassifolia</i>	1.269	5.589	1.473	6.487	0.427	1.880	2.483	10.935
<i>Quercus durifolia</i>	0.000	0.000	0.123	0.542	0.061	0.270	0.084	0.370
<i>Quercus rugosa</i>	0.020	0.087	0.010	0.044	0.006	0.027	0.003	0.012
<i>Quercus sideroxyla</i>	5.937	26.146	1.814	7.989	1.122	4.940	0.048	0.210
<i>Quercus viminea</i>	0.000	0.000	0.555	2.443	0.000	0.000	0.003	0.012
<i>Fraxinus spp.</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.004	0.000	0.000

En cuanto a la captura de carbono en el AMF del Ejido Socorro Rivera, los géneros *Pinus* y *Quercus*, obtuvieron un valor total de CCA en las cuatro anualidades de 61.26 y 23.04 MgCCA.ha<sup>-1</sup>, valores por debajo para los géneros *Pinus* y *Quercus* 102.98 ± 26.18 MgC.ha<sup>-1</sup> que reportaron Pacheco et al., (2015) en áreas bajo aprovechamiento forestal en Ixtlán, México. Sin embargo, se muestran valores más

altos en un bosque de pino-encino en la reserva de la biósfera el cielo donde estimaron por hectárea 1,460.124.3 toneladas de carbono almacenado (Rodríguez *et al.*,2009).

El género *Pinus* presentó el mayor valor de CCA y CO<sub>2</sub> en las cuatro anualidades, con respecto al género *Quercus*, también se muestra que el área conservada presenta los mayores valores de CCA y CO<sub>2</sub> en ambos géneros (Cuadro 9).

Cuadro 9. Estimación CCA y CO<sub>2</sub> por género, AMF y conservada.

Genero	MgCCA.ha <sup>-1</sup>				MgCO <sub>2</sub> .ha <sup>-1</sup>			
	2015C	AMF unos	AMF dos	AMF tres	2015 C	AMF uno	AMF dos	AMF tres
<i>Pinus</i>	17.98	13.84	12.83	11.86	79.18	60.95	55.41	52.41
<i>Quercus</i>	8.87	6.61	2.6	4.37	39.08	29.13	11.45	19.24
Otras especies	0.827	1.64	1.72	1.37	3.64	7.22	7.58	6.07

Lo cual indica que el género *Pinus* en total fija 253.698 MgCO<sub>2</sub>.ha<sup>-1</sup> y 102.992 MgCO<sub>2</sub>.ha<sup>-1</sup> para *Quercus*. Comparando estos valores con un estudio realizado en Matas de Valsaín en el que reportaron valores para pino 359.626 MgCO<sub>2</sub> fijado, valores similares al estudio, en Pinar de Valsaín para *Quercus pirenaica* presentó 9.670 tCO<sub>2</sub> (Muñoz *et al.*,2004) cantidad muy por debajo a la que se calculó en dicho estudio.

De las 18 especies presentes en las tres anualidades de aprovechamiento forestal (2015,2016 y 2017) y la conservada (2015), la Figura 12 se muestran las nueve especies con mayor captura de carbono almacenado y CO<sub>2</sub> acumulado, siendo la especie *Pinus durangensis* que muestra valores mayores con respecto al resto.

**CONTENIDO DE CARBONO Y DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE LA VEGETACION EN UN ÁREA BAJO  
MANEJO FORESTAL, CHIHUAHUA, MÉXICO**

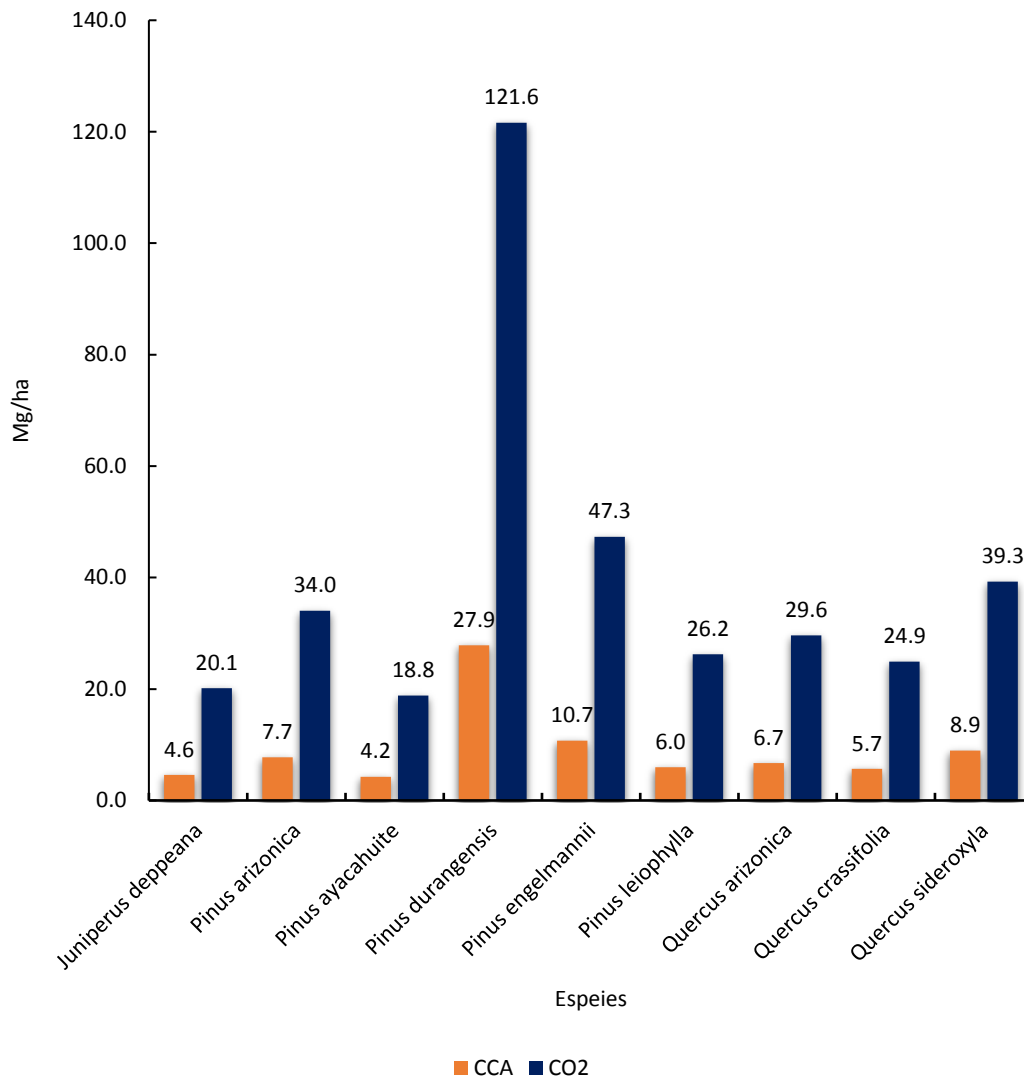


Figura 12. Especies que mayor captura de carbono almacenado y fijación de CO2 acumulado en las tres AMF y la conservada.

Estos resultados constituyen una primera estimación cuantitativa de contenido de carbono almacenado y acumulado en cada una de las especies presentes en el AMF (anualidad 2015,2016 y 2017) y una conservada (2015) del Ejido Socorro Rivera, Madera, Chih, por lo cual, esta información puede usarse para implementar proyectos de carbono, y pago por servicios ambientales a esta comunidad.

#### 4.2.4 Potencial de captura de carbono en las tres AMF y conservada.

El AMF uno (2015) se calculó un volumen de 23,208 m<sup>3</sup> VTA, en una superficie de 278 ha<sup>-1</sup>, realizando un aprovechamiento de 5,953 m<sup>3</sup> VTA, en el mismo año que incrementó en volumen con 1,143 m<sup>3</sup>, calculando para esta anualidad una captura de carbono (PCC) de 1009 MgCO<sub>2</sub> e año<sup>-1</sup>, en el año 2016 se tuvo un incremento de 1016 m<sup>3</sup> con un potencial de carbono de 897 MgCO<sub>2</sub> al año, en el año 2017 el incremento fue de 1092 m<sup>3</sup>, un PCC 965 MgCO<sub>2</sub> en el año, finalmente en el año 2018 se incrementó en PCC 1019 MgCO<sub>2</sub>. Figura 13.

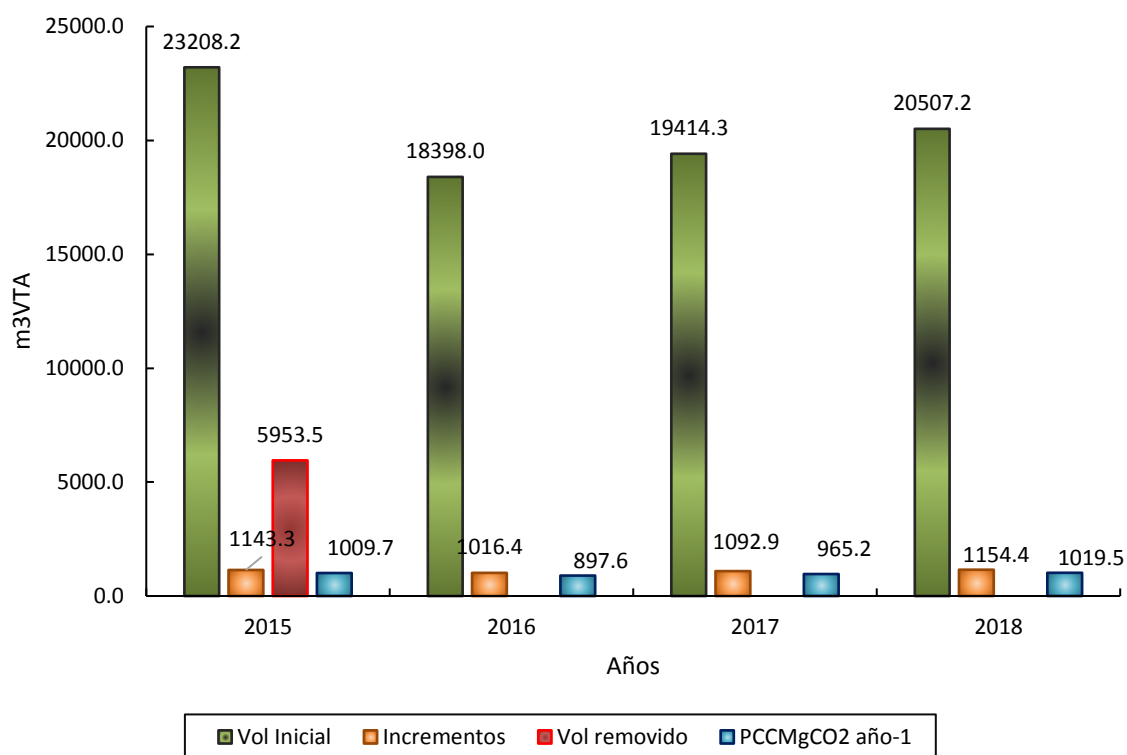


Figura 13. Potencial de captura de carbono por año e incrementos volumétricos en el AMF uno del género *Pinus*.

En el AMF dos (2016) se inicia con un volumen de 19,443 m<sup>3</sup> VTA, en una superficie de 240 ha<sup>-1</sup>, con un incremento 1,061 m<sup>3</sup>año<sup>-1</sup>. Se efectuó un aprovechamiento de 5,091 m<sup>3</sup> VTA, incrementando en volumen con 1,193 m<sup>3</sup>. Para esa anualidad se calcula un potencial de captura de carbono (PCC) de 1,053 MgCO<sub>2</sub> e año<sup>-1</sup>, el año

2017 presenta un incremento de 961 m<sup>3</sup>, con un potencial de captura de carbono de 849 MgCO<sub>2</sub> e año, en el año 2017 el incremento fue de 5,091 m<sup>3</sup>, un PCC 849 MgCO<sub>2</sub> en el año, y en el año 2018 presentó un PCC 898 MgCO<sub>2</sub> al año. Figura 14.

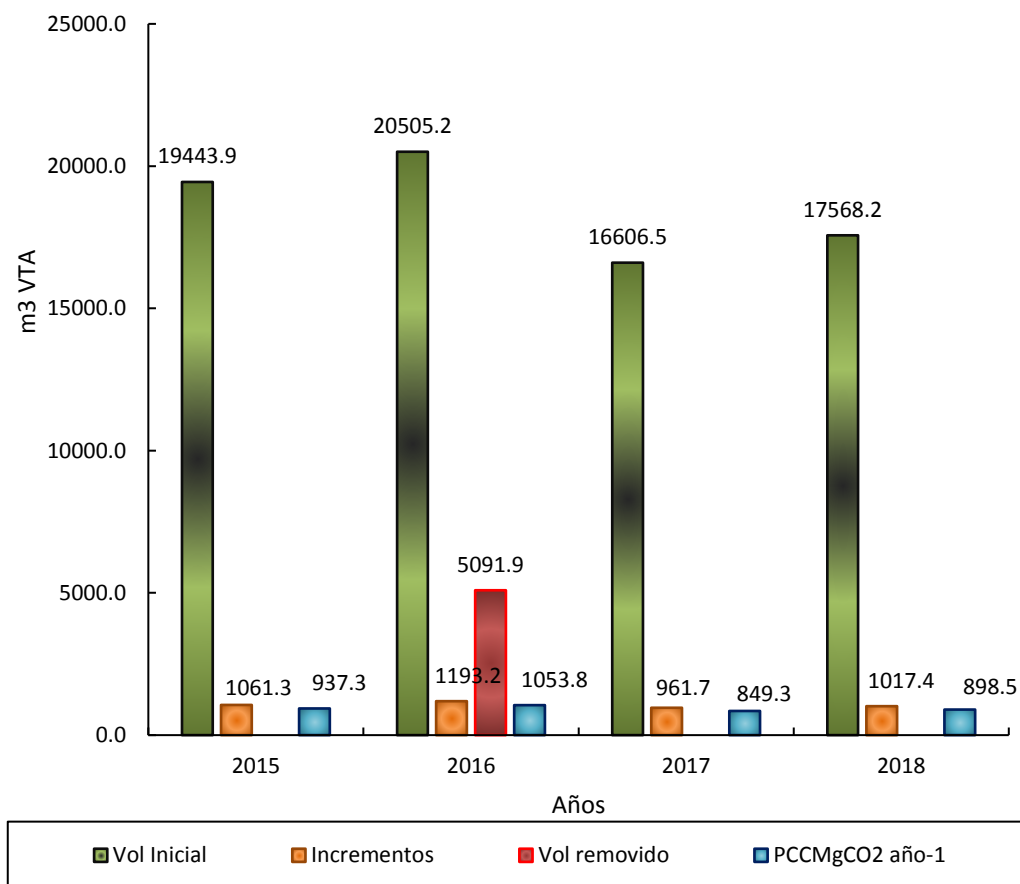


Figura 14. Potencial de captura de carbono por año e incrementos volumétricos en el AMF dos del género *Pinus*.

En el AMF tres (2017) el volumen inicial es de 23,188 m<sup>3</sup> VTA en una superficie de 320 ha<sup>-1</sup>, con un incremento 1,084 m<sup>3</sup>año<sup>-1</sup> con un PCC 957 MgCO<sub>2</sub> en el año<sup>-1</sup> y en el año 2015. En 2016 el incremento fue de 1,196 m<sup>3</sup> con un PCC de 1,056. En el año 2017 se realizó un aprovechamiento, donde se removió 4,835 m<sup>3</sup> VTA, mismo año que incrementó en volumen con 1,259 m<sup>3</sup>, ese año se presentó un potencial de captura de carbono (PCC) de 1,112 MgCO<sub>2</sub> en el año<sup>-1</sup>, en el año 2018 presentó un potencial de 898 MgCO<sub>2</sub>. Figura 15.

**CONTENIDO DE CARBONO Y DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE LA VEGETACION EN UN ÁREA BAJO  
MANEJO FORESTAL, CHIHUAHUA, MÉXICO**

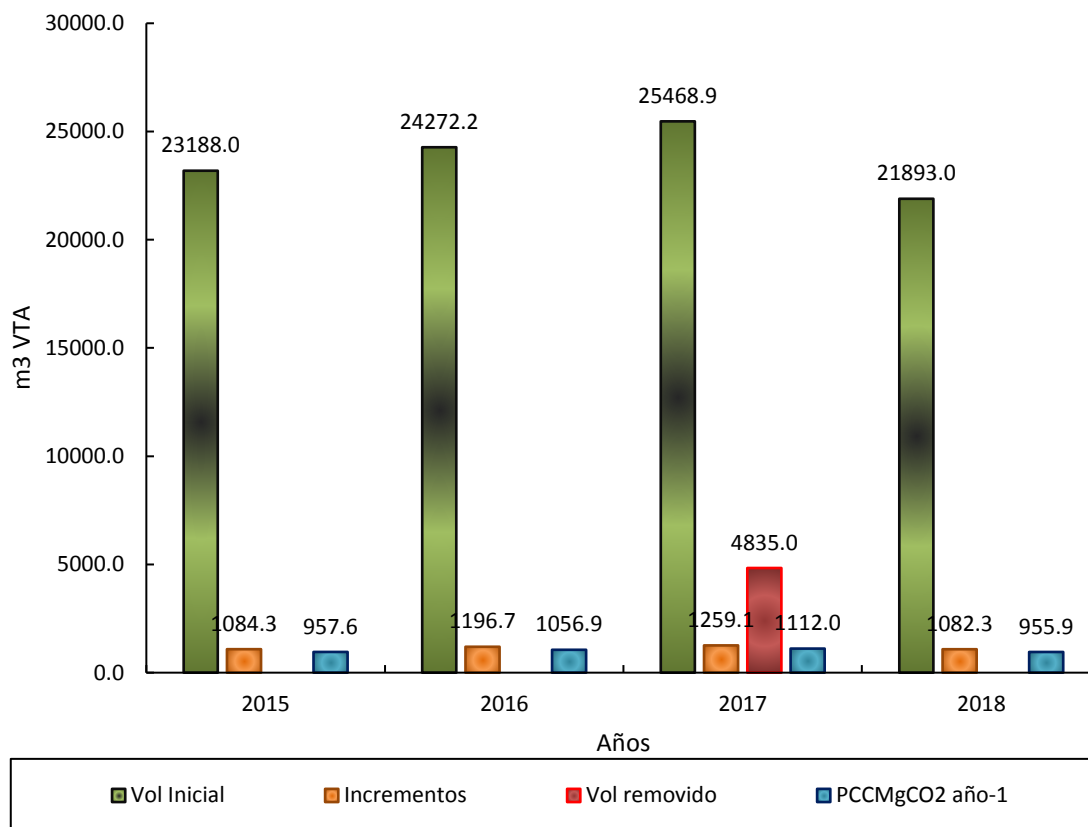


Figura 15. Potencial de captura de carbono por año e incrementos volumétricos en el AMF tres del género *Pinus*.

El carbono almacenado (CA) en el género *Pinus* en el AMF uno, en el año 2015 presento 20, 496 MgCO<sub>2</sub>e , año donde se presentó el aprovechamiento forestal, en el año 2016 con 16,246 MgCO<sub>2</sub>e, en el 2017 17,45 MgCO<sub>2</sub>e y 18,110 MgCO<sub>2</sub>e de carbono almacenado en el año 2018 Figura 16.



**CONTENIDO DE CARBONO Y DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE LA VEGETACION EN UN ÁREA BAJO  
MANEJO FORESTAL, CHIHUAHUA, MÉXICO**

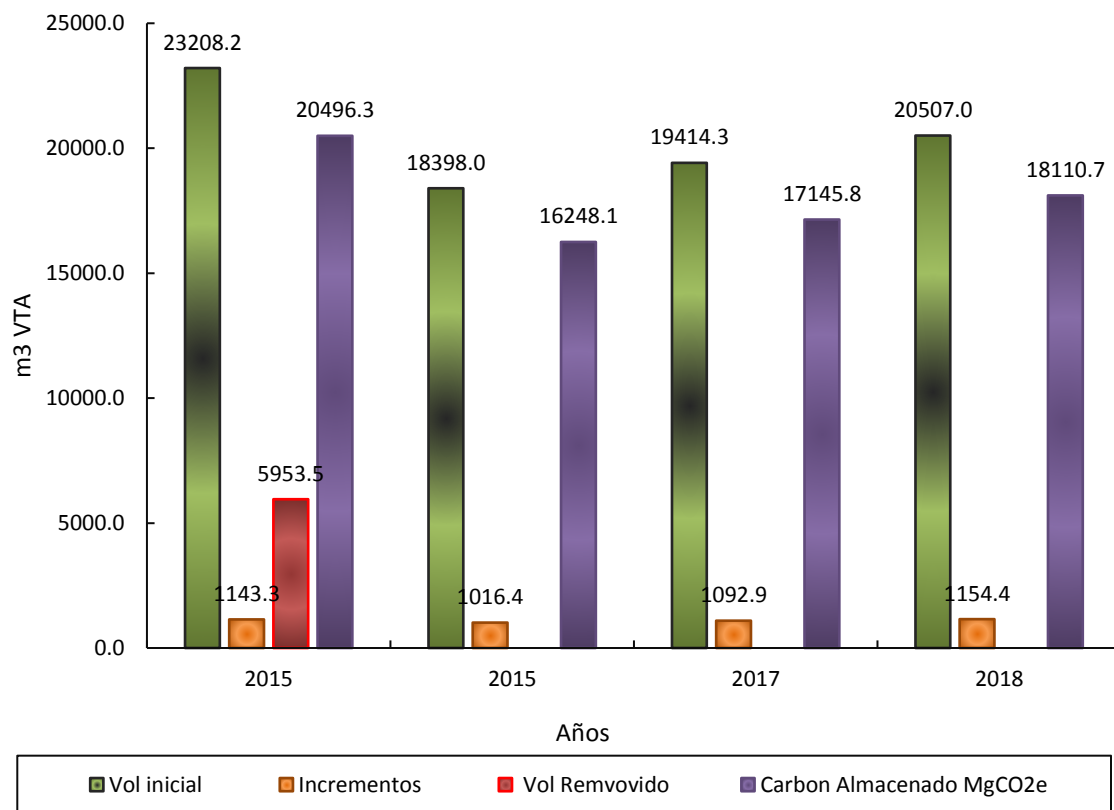


Figura 16. Carbono almacenado del género *Pinus* en los años (2015-2018) en AMF uno

En la siguiente figura 17 se muestran los valores de carbono almacenado por año (2015-2018) en el AMF dos del género *Pinus*. En el año 2015 el carbono almacenado fue de 17, 171 MgCO<sub>2</sub>e, en el 2016 con, 18,109. Año donde se presentó el aprovechamiento forestal, en el año 2017 y 2018 con 14,666 y 15,515 MgCO<sub>2</sub>e de carbono almacenado.

**CONTENIDO DE CARBONO Y DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE LA VEGETACION EN UN ÁREA BAJO  
MANEJO FORESTAL, CHIHUAHUA, MÉXICO**

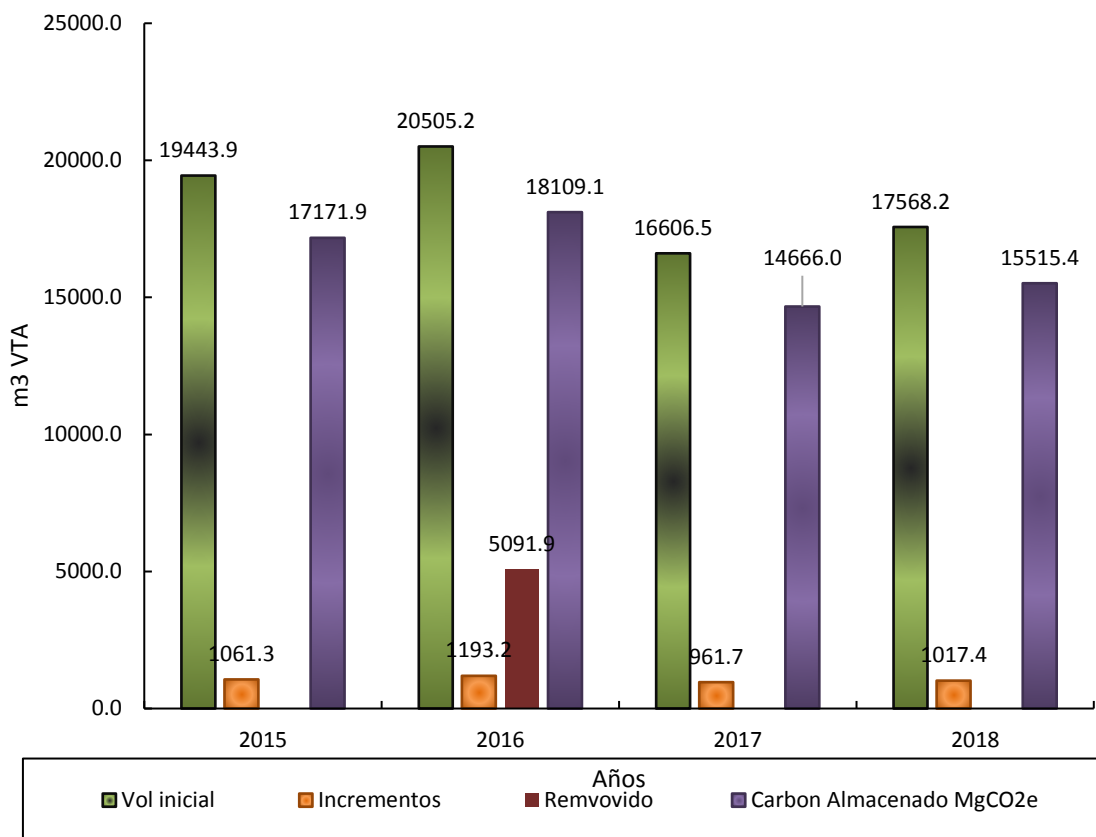


Figura 17 Carbono almacenado del género Pinus en los años (2015-2018) en AMF dos.

En el AMF tres de la misma manera se presentan los valores de almacenamiento de carbono por año (2015-2018), mostrando valores en año 2015 de 20,478, 2016 con 21,476, 2017 y 2018, 22,492, 19,334 MgCO<sub>2</sub>e de carbono almacenado Figura 18.

**CONTENIDO DE CARBONO Y DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE LA VEGETACION EN UN ÁREA BAJO  
MANEJO FORESTAL, CHIHUAHUA, MÉXICO**

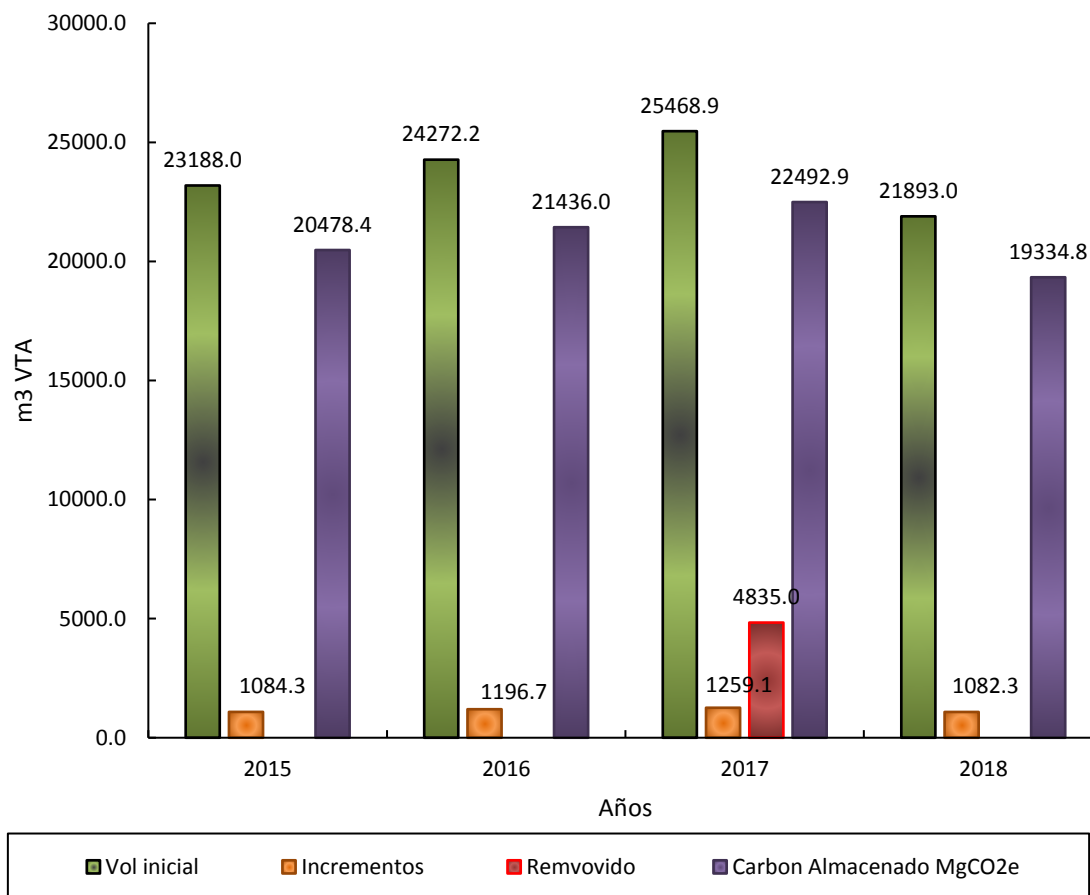


Figura 18. Carbono almacenado del género *Pinus* en los años (2015-2018) en AMF tres.

En las tres áreas de manejo forestal (866 ha) hubo una captura de carbono en el género *Pinus*, en promedio por rodal de 3.3 MgC ha<sup>-1</sup> año y con una captura total de 2,842 MgCO<sub>2</sub>e al año, mientras que el área conservada en promedio captura carbono 5.2 MgC ha<sup>-1</sup> por año.

En total almacena 56,620 MgCO<sub>2</sub>e al año de carbono en las tres AMF y la conservada. En promedio las AMF uno y dos almacenan 16,399 y 16,365 MgCO<sub>2</sub>e al año, sin embargo, el AMF tres fue la que representó el mayor almacenamiento de carbono en el género *Pinus* con un promedio de 20,935 MgCO<sub>2</sub>e al año. Cuadro 10.

## CONTENIDO DE CARBONO Y DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE LA VEGETACION EN UN ÁREA BAJO MANEJO FORESTAL, CHIHUAHUA, MÉXICO

En la siguiente Figura. 19 se muestran los incrementos por año en el área conservada, así como el potencial de captura de carbono por año y el carbono almacenado.

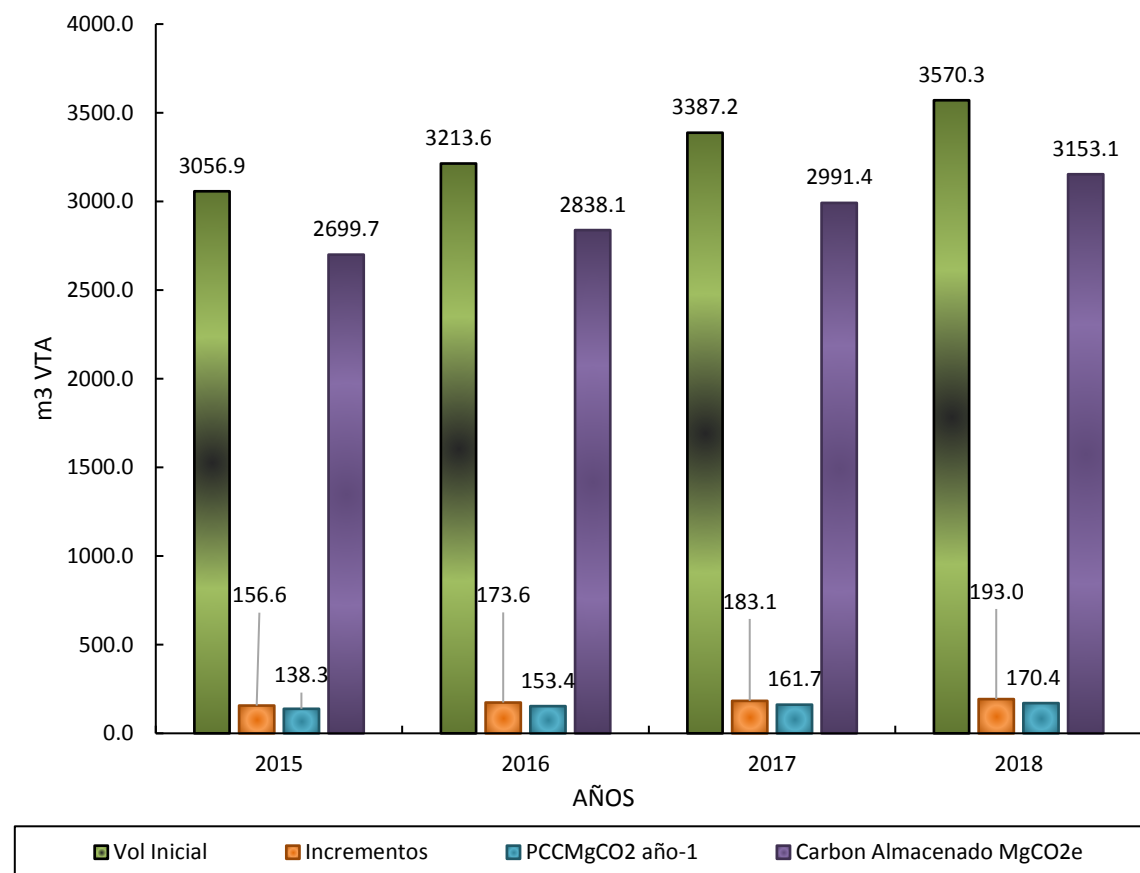


Figura 19. Potencial de captura y almacenamiento de carbono por año e incrementos volumétricos en el área conservada del género *Pinus*.

## CONTENIDO DE CARBONO Y DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE LA VEGETACION EN UN ÁREA BAJO MANEJO FORESTAL, CHIHUAHUA, MÉXICO

Cuadro 10. Potencial de captura y almacenamiento de carbono en promedio para las tres AMF y conservada

AMF	Superficie	Potencial de Captura de Carbono MgCO <sub>2</sub> e año-1	Captura de carbono MgC ha <sup>-1</sup> año	Promedio de Carbono almacenado MgCO <sub>2</sub> e año	Carbono Almacenado MgCO <sub>2</sub> ha -1 año
Uno	278.3	888	3.2	16,400	58.9
Dos	240.7	934	3.9	16,365.0	68.2
Tres	321.0	1020	3.2	20,935.0	65.2
Área conservada	27.2	156	5.7	2,920	108.1
Total	866	2,998	3.0	56,620	300

Fuente: Cálculos propios con datos del inventario forestal realizado por Ramos *et al.*, (2015) AMF=áreas de manejo forestal.

En los géneros *Quercus* y *Juníperos* se encontró un total de carbono almacenado de 31,142 y 24,828 MgCO<sub>2</sub>e en las 866 ha (Cuadro 11).

Cuadro 11. Almacenamiento de carbono total en las tres áreas bajo aprovechamiento forestal y área conservada en los géneros *Quercus* y *Juniperus*.

Áreas	Superficie(ha)	Existencias <i>Quercus</i> m <sup>3</sup> VTA	Carbono almacenado MgCO <sub>2</sub> e	Carbono almacenado MgCO <sub>2</sub> e.ha <sup>-1</sup>	Existencias <i>Juniperus</i> m <sup>3</sup> VTA	Carbono almacenado MgCO <sub>2</sub> e	Carbono almacenado MgCO <sub>2</sub> e.ha <sup>-1</sup>
AMF uno	278.2	3,648	13,388	48	2,325	8,533	31
AMF dos	240.7	1,375	5,046	21	2,201	8,079	34
AMF tres	320.9	3,440	12,624	39	2,238	8,215	26
Conservada	27.17	65.00	83.54	3	6	1.44	0
Total	866	8,528	31,142	111	6770	24828.44	89.71

Las tres áreas donde se extrae madera presentaron el mayor potencial de captura de carbono, con respecto al área conservada, sin embargo, se observó lo opuesto con el carbono almacenado, siendo el área conservada la que presentó el mayor almacenamiento de carbono por hectárea. (Cuadro 11)

En las AMF se evidenció un importante potencial de captura y almacenamiento de carbono, ahí se muestra que en los años de aprovechamiento maderable tiende a

recuperarse notablemente rápido al año siguiente. Aunque los valores estimados de carbono del ejido Socorro Rivera fueron comparados con otros estudios.

En cuanto almacén de carbono en el AMF de Ejido Socorro Rivera en el género *Pinus* en las tres áreas presentó un promedio 64 MgC ha<sup>-1</sup> al año, en *Quercus* 36 MgC ha<sup>-1</sup> al año, en el género *Juniperus* se presentaron valores en promedio de 29 MgC ha<sup>-1</sup>, cifras comparables al valor máximo alrededor del promedio ( $91.5 \pm 8.9$  Mg C ha<sup>-1</sup>) por Ordoñez et al. (2008) para asociaciones de bosques de pino-encino en Michoacán, también manejados por comunidades. Sin embargo, estuvo por debajo de los 100 MgC ha<sup>-1</sup> registrada por Rodríguez et al. (2009), para un bosque de pino-encino en Tamaulipas, de los 216 MgC ha<sup>-1</sup> señalados por Olguín et al. (2003), y de los 195 MgC ha<sup>-1</sup> estimados por Álvarez y Rubio (2013) para una comunidad forestal adyacente a Ixtlán; un valor promedio de  $102.98 \pm 26.18$  Mg C ha<sup>-1</sup> en la comunidad de Ixtlán de Juárez Oaxaca por Pacheco et al., 2015.

Es probable que las diferencias anteriores, más que relacionarse en los valores obtenidos, se deban a los diferentes criterios metodológicos empleados para la estimación de carbono, o por las superficies que presentaron cada uno de los estudios.

Con el análisis de la dinámica del carbono en las áreas de aprovechamiento maderable, fue posible conocer la remoción conforme el tipo de extracción de madera que se practicó; así como su recuperación en los años posteriores. Independientemente de la cantidad de carbono residual, en todas las áreas aprovechadas hubo recuperación del almacén del carbono de manera inmediata.

#### 4.2.5 Análisis estadístico de las variables

Mediante el análisis estadístico se calcularon las medias y los errores estándar de las variables CCA, CO<sub>2</sub> y PCC (Cuadro 12 y 13). Las diferencias significativas entre CCA vs las AMF (uno, dos, tres) y conservada por género y el PCC por AMF se determinaron procesando los datos a través de un modelo lineal general y su ANOVA, se realizó la jerarquización de los efectos de la interacción de AMF con

**CONTENIDO DE CARBONO Y DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE LA VEGETACION EN UN ÁREA BAJO  
MANEJO FORESTAL, CHIHUAHUA, MÉXICO**

género en la CCA utilizando el método de Tukey, para el PCC con AMF fue mediante el método Bonferroni ambos con una confiabilidad del 95%. Estos cálculos se estimaron en el programa MINITAB.versión16®©.

Cuadro 12. Estadísticas descriptivas del CCA y CO2 de las tres AMF y conservada.

CCA			CO2		
Áreas	Género	$\bar{X}SE$	Áreas	Genero	$\bar{X}SE$
AMF uno	<i>Pinus</i>	0.047±0.002	AMF uno	<i>Pinus</i>	0.209±0.009
	<i>Quercus</i>	0.036±0.001		<i>Quercus</i>	0.159±0.005
	<i>Juniperus spp</i>	0.010±0.0004		<i>Juniperus spp</i>	0.045±0.002
AMF dos	<i>Pinus</i>	0.050±0.002	AMF dos	<i>Pinus</i>	0.214±0.011
	<i>Quercus</i>	0.026±0.002		<i>Quercus</i>	0.116±0.011
	<i>Juniperus spp</i>	0.007±0.0004		<i>Juniperus spp</i>	0.033±0.002
AMF tres	<i>Pinus</i>	0.048±0.002	AMF tres	<i>Pinus</i>	0.210±0.007
	<i>Quercus</i>	0.024±0.0008		<i>Quercus</i>	0.104±0.004
	<i>Juniperus spp</i>	0.009±0.0004		<i>Juniperus spp</i>	0.040±0.002
Conservada	<i>Pinus</i>	0.042±0.003	Conservada	<i>Pinus</i>	0.209±0.009
	<i>Quercus</i>	0.029±0.001		<i>Quercus</i>	0.159±0.005
	<i>Juniperus spp</i>	0.011±0.002		<i>Juniperus spp</i>	0.045±0.002

Cuadro 13. Estadísticas descriptivas del PCC por año de las tres AMF y conservada

PCC del Género <i>Pinus</i>			
Área	$\bar{X}SE$	Año	$\bar{X}SE$
AMF dos	67.37±2.86	2015	72.4±21.2
AMF tres	110.84±4.04	2016	74.9±21.1
AMF uno	100±2.94	2017	74.7±22.7
Conservada	16±0.7	2018	73.8±20.7

# **CONTENIDO DE CARBONO Y DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE LA VEGETACION EN UN ÁREA BAJO MANEJO FORESTAL, CHIHUAHUA, MÉXICO**

En el cuadro 14 y figura xx muestra que las AMF (uno, dos, tres ), conservada y por Género (*Pinus*, *Quercus* y *Juniperus spp*) reflejaron una diferencia significativa en la CCA y CO2 acumulado, presentando un valor de  $P < 0.05$ .

Cuadro 14. Análisis de varianza de las variables CCA y CO2 acumulado.

CCA							CO2 Acumulado						
Datos	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	Proporción F	Valor P	Datos	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	Proporción F	Valor P
AMF	3	0.10	0.05	0.017	3.81	0.010	AMF	3.00	2.14	0.99	0.000	3.88	0.009
Género	2	3.41	1.68	0.841	189.43	0.0001	Género	2	65.57	32.15	16.070	187.75	0.0001
AMF*Género	6	0.11	0.10	0.018	4.06	0.0001	AMF*Género	6	2.02	20.02	0.33	3.93	0.001
Error	15020	66.72	66.72	0.0004			Error	15020	1286.1	1286.1	0.085		
Total	15031	70.35					Total	15031	1355.8				

En el análisis del método Tukey se formaron siete grupos (A, AB ,BC ,CD ,D, CDE, E), los cuales se clasifican de mayor a menor en la CCA. Donde el género *Pinus* presento la mayor CCA, en las AMF dos, tres y uno, por lo tanto, existe una relación significativa entre ambas áreas rechazando la hipótesis nula. Los *Quercus* muestran diferencias en las tres áreas bajo manejo y conservada, en los *Juniperus spp* por su parte presentó el menor valor en las tres AMF, indicando una relación entre ellas y una diferencia en la conservada (Figura 20 y cuadro 15).



**CONTENIDO DE CARBONO Y DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE LA VEGETACION EN UN ÁREA BAJO  
MANEJO FORESTAL, CHIHUAHUA, MÉXICO**

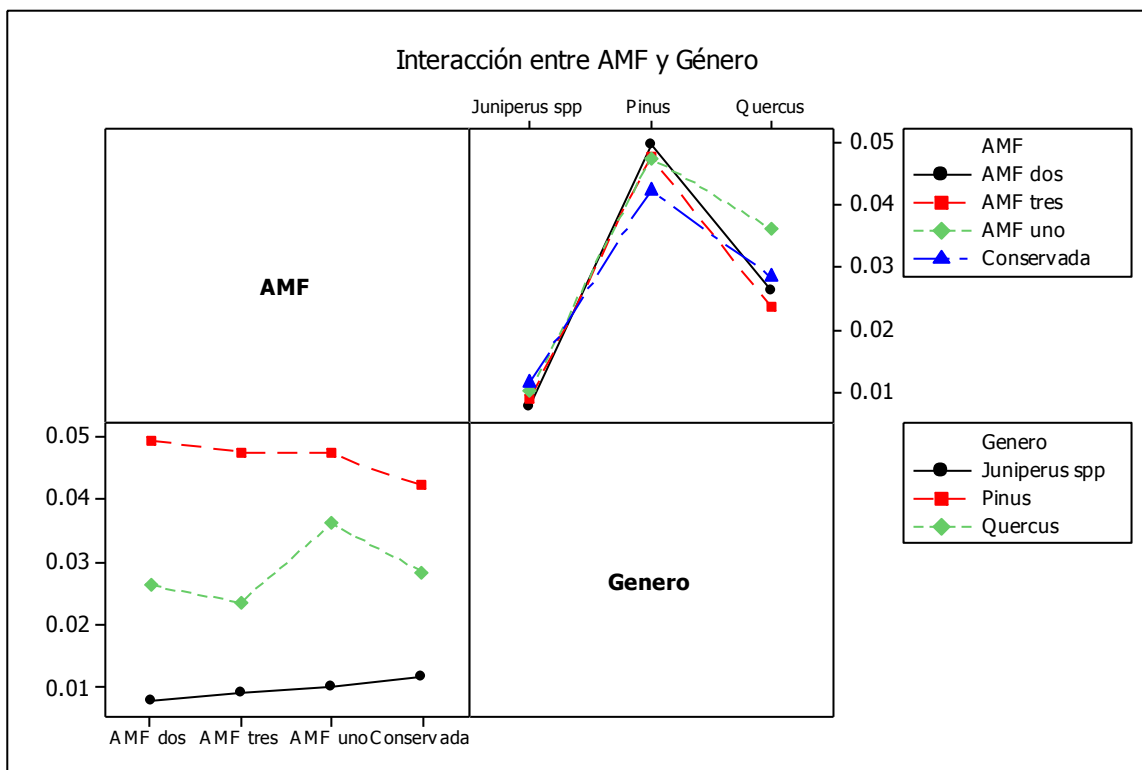


Figura 20. Jerarquización del CCA por género, AMF y conservada mediante el método Tukey.

Cuadro 15. Grupos del CCA por género, AMF y conservada mediante el método Tukey.

CCA				
Áreas	Género	N	Media	Grupo
AMF dos	<i>Pinus</i>	1402	0.05	A
AMF tres	<i>Pinus</i>	2143	0.048	A
AMF uno	<i>Pinus</i>	2343	0.047	A
Conservada	<i>Pinus</i>	1106	0.042	AB
AMF uno	<i>Quercus</i>	1511	0.036	BC
Conservada	<i>Quercus</i>	853	0.028	CD
AMF dos	<i>Quercus</i>	569	0.026	CD
AMF tres	<i>Quercus</i>	1626	0.024	D
Conservada	<i>Juniperus spp</i>	83	0.012	CDE
AMF uno	<i>Juniperus spp</i>	1087	0.010	E
AMF tres	<i>Juniperus spp</i>	1244	0.009	E
AMF dos	<i>Juniperus spp</i>	1065	0.0077	E

El CO<sub>2</sub> acumulado presentó los mismos resultados que el CCA, ya que están relacionados entre sí por depender su obtención de la fórmula:

$$B = V_{ta_{cc}} * D * FEB$$

$$CCA = (\%CC) * B$$

El CCA en el género Pinus en las tres AMF son similares debido a que están sometidas bajo aprovechamiento forestal, donde se extraen todas aquellas especies que cumple con la característica comercial, dejando un residual de árboles en su mayoría que pertenecen a la categoría diamétricas menores. Indicando que el aumento del contenido de carbono es proporcional al tiempo; como consecuencia del crecimiento en la etapa de vida del árbol, pues entre menor sea la talla de éste, más carbono captará porque es utilizado para su desarrollo, este aumento llegará a ser menos significativo cuando el árbol alcance su máximo crecimiento pues la mayoría del carbono capturado lo utilizará para realizar la fotosíntesis o reparar alguna estructura (Rodríguez, 2013).

Las AMF y conservada presentaron una diferencia significativa en el PCC anual, presentando un valor de  $p < 0.05$  (Cuadro 16).

Cuadro 16. Análisis de varianza del PCC por AMF y conservada.

Datos	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	Proporción F	Valor P
AMF	3	21656.7	21656.7	7218.9	214.16	0.0001
Error	12	404.5	404.5	33.7		
Total	15	22061.2				

En el análisis del método Bonferroni se formaron tres grupos (A, B y C), que presentaron valores de mayor a menor en el PCC. El cual mostró que el AMF tres presenta el mayor potencial de captura de carbono, seguido del AMF uno, mostrando una similitud entre ambas, el área conservada manifestó el menor valor

del PCC anual, con respecto a las áreas donde se realizaron los aprovechamientos.  
(Figura 21 y cuadro 17).

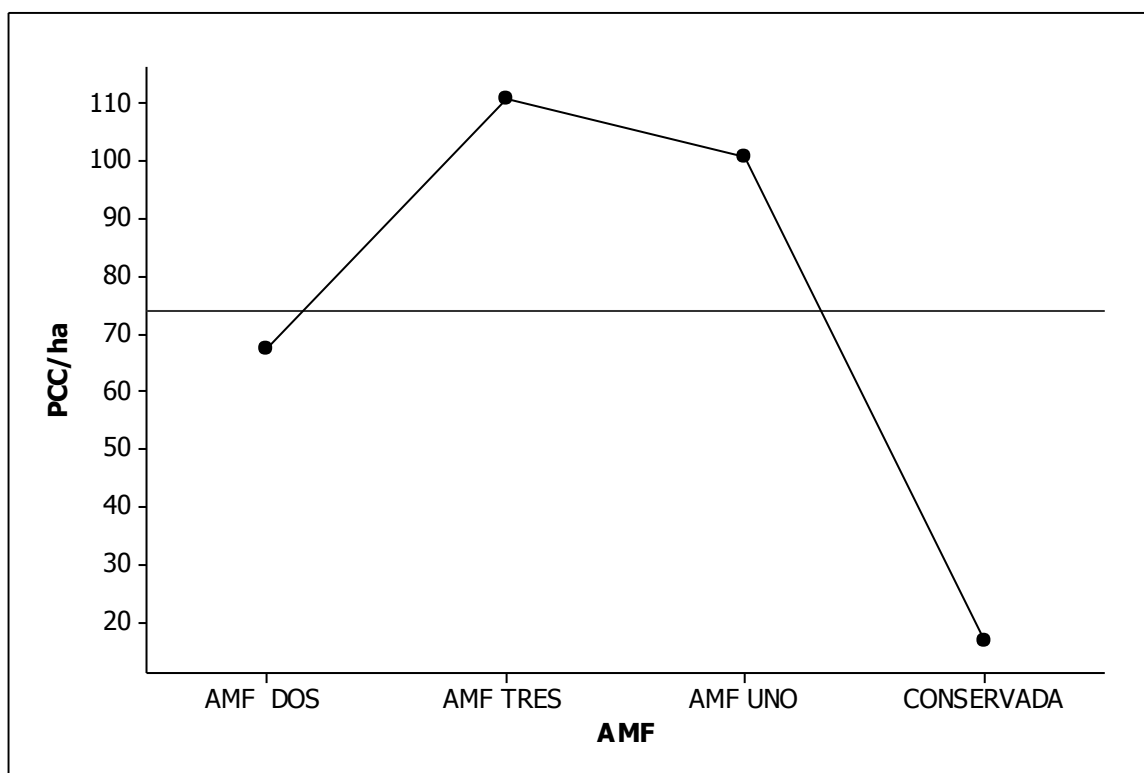


Figura 21. Jerarquización del PCC anual para las AMF y conservada mediante el método Bonferroni.

Cuadro 17. Grupos del PCC por AMF y conservada mediante el método Bonferroni.

PCC género <i>Pinus</i>			
Áreas	N	Media	Grupo
AMF tres	4	110.8	A
AMF uno	4	100.9	A
AMF dos	4	67.4	B
Conservada	4	16.6	C

El AMF tres, presentó el mayor PCC anual debido a que en los años 2015 al 2017 incremento en volumen que se deriva del PCC, sin embargo en el año 2017 hay una intervención silvícola que refleja una disminución de 4000 m<sup>3</sup>VTA, no dejando de ser la que presenta el mayor PCC en el año 2018; con respecto a las AMF uno

y dos ya que estas fueron intervenidas en el año 2015 y 2016 aplicando la mima de intensidad de corta que el AMF tres. Por su parte el área conservada de acuerdo al análisis presentó el menor PCC; este potencial refleja un aumento en volumen (170 m<sup>3</sup> VTA por año) pudiéndose incrementar un poco más aplicando un tratamiento silvícola. Un manejo adecuado puede ayudar aumentar el volumen mediante la liberación de árboles, dando oportunidad a los arboles residuales de incrementar su diámetro, altura y por consiguiente en volumen.

## 5 CONCLUSIONES

Considerando la premisa que el manejo forestal que se aplican en el Ejido Socorro Rivera mantienen la biodiversidad, composición, estructura y rendimiento sostenido del bosque, podemos concluir que esta actividad no modifica significativamente la biodiversidad del estrato arbóreo ya que en las áreas bajo manejo se mantiene la misma composición de especies que en el área conservada, siendo las que presentaron mayor abundancia, dominancia y valor de importancia *Pinus durangensis* y *Juniperus deppeana*. La estructura vertical y horizontal se ve modificada como es de esperarse al realizarse las labores silvícolas, eso se demuestra al presentarse un número menor de individuos y un área basal por hectárea menor comparándolas con el área conservada.

Las áreas productivas de los bosques manejados en forma sustentable contribuyen significativamente a la captura de CO<sub>2</sub> al almacenamiento de carbono ya que los análisis demuestran que el manejo forestal favorece el potencial de captura y almacenamiento de carbono. El área conservada presento el mayor contenido de carbono almacenado, dado que esta se mantiene segregada del aprovechamiento forestal y las estructuras se mantienen estables. No existe diferencias en la capacidad de captura de los arboles teniendo la misma capacidad para capturar carbono, pero en las áreas manejadas los bosques son modificados en diámetros y altura al momento de hacer un tratamiento silvícola dejando estructuras más jóvenes con mayor capacidad de captura de CO<sub>2</sub>. La especie que presento mayor capacidad de captura de carbono y CO<sub>2</sub>e fue el *Pinus durangensis* con 27.9 MgCCA.ha<sup>-1</sup>, 121.6 MgCO<sub>2</sub>.ha<sup>-1</sup>.

## 6 LITERATURA CITADA

- Aguilar, J.M. Sf. Inifap-Sagarpa. Proyección y recuperación de volúmenes para el manejo sustentable en bosques irregulares. URL: [Bamenes-para-el-manejo-sustentable-en-bosques-irregulares](http://agroforestal.com.mx/content/proyecci%C3%B3n-recuperaci%C3%B3n-de-vol%C3%BAmenes-para-el-manejo-sustentable-en-bosques-irregulares). Obtenido de <http://agroforestal.com.mx/content/proyecci%C3%B3n-recuperaci%C3%B3n-de-vol%C3%BAmenes-para-el-manejo-sustentable-en-bosques-irregulares>.
- Aguirre-Calderón, O.A. 2015. Manejo forestal en el siglo XXI. *Madera y Bosques* 21 (Núm. esp.): 17-28.
- Álvarez, S., & Rubio, A. (2013). Línea base de carbono en bosque mixto de pino-encino de la Sierra Juárez (Oaxaca, México): Aplicación del modelo CO2FIX v. 3.2. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 19(1), 125-137.
- Angelsen, A., M. Brockhaus, W. D. Sunderlin y L. V. Verchot. 2013 Análisis de REDD+: Retos y Opciones. CIFOR. Bogor, Indonesia. pp. 284-285.
- Basuki, M.T., P.E. Van Laake, A.K. Skidmore y Y.A. Hussin. 2009. Allometric equation for estimating the aboveground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management* 257(8):1684-1694.
- Brown, S. 1997. Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono. Ankara, Turquía: Congreso Forestal Mundial. 107-121 pp.
- Cairns, M.A., P.K. Haggerty, R. Alvarez, B.H. J. De Jong e I. Olmsted. 2000. Tropical Mexico's recent land-use change: A region's contribution to the global carbon cycle. *Ecological Applications*, Vol. 10:1426-1441.
- Canadell, J. G. and M. R. Raupach. 2008. Managing Forests for Climate Change Mitigation. *Science* 320:1456-1457.
- Castelán, M. 2003. Evaluación de la regeneración natural de *Pinus patula* Schiede ex Schldl. & Cham. En el Ejido "La Mojonera", Municipio de Zacualtipán, Estado de Hidalgo. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 95 p.
- Castellanos-Bolaños, J.F., E.J. Treviño-Garza, O. A. Aguirre-Calderón, J. Jiménez-Pérez y R. López-Aguillón. 2008. Estructura de bosques de *Pino pátula* bajo manejo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. *Madera y Bosques* 14(2):51-63.

- Castro Z., R., R. Arteaga R., M. Vázquez P. y J. L. Jiménez R. 2002. Introducción a la meteorología. Universidad Autónoma Chapingo. México. 247 p.
- Clark, B.D., y D.A. Clark. 2000. Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest. *Forest Ecology and Management* 137:185-198
- Del Castillo, R.F., J.A. Pérez de la Rosa, G. Vargas Amado y R. Rivera García. 2004. Coníferas. En: García-Mendoza, A.J., M.J. Ordóñez y M. Briones-Salas (eds.), *Biodiversidad de Oaxaca*. Instituto de Biología-UNAM, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza, World Wildlife Fund, Méx., pp 141-158.
- Dhillon, R. S., & Von Wuehlisch, G. (2013). Mitigation of global warming through renewable biomass. *Biomass Bioenergy*, 48, 75–89. doi: 10.1016/j.biombioe.2012.11.005
- Epstein, R. y C. Rogers. 2004. The impacts of CO<sub>2</sub> and climate change on public health in the Inner City. The Center for Health and the Global Environment-Harvard Medical School.<http://www.med.harvard.edu/chge>
- Díaz-Franco, R., Acosta, M.M., Carrillo, A.F., Buendía, R.E., Flores, A.E., Etchevers, J.D., 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schtl. & Cham. *Madera y bosques* 13 (1), 25-34.
- Díaz-Ríos, M. D. J., Vázquez-Alarcón, A., Uribe-Gómez, M., Sánchez Vélez, A., Lara Bueno, A., & Cruz León, A. (2016). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en aile obtenidas mediante un método no destructivo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Núm 16, p.3235-3249
- Epstein, R. y C. Rogers. 2004. The impacts of CO<sub>2</sub> and climate change on public health in the Inner City. The Center for Health and the Global Environment-Harvard Medical School.<http://www.med.harvard.edu/chge>
- Estrada Castillón, Eduardo, Villarreal Quintanilla, José Ángel, Jurado, Enrique, Leguminosas del norte del estado de Nuevo León, México. *Acta Botánica Mexicana* [en línea] 2005, (octubre-Sin mes) : [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2018] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57407301>> ISSN 0187-7151
- Fang, Z., Borders, B.E., Bailey, R.L. 2000. Compatible volume-taper models for loblolly and slash pine based on a system with segmented-stem form factors. *For. Sci.*, 46(1): 1-12.

FAO. 2004. Resumen del estado actual del manejo y ordenación forestal en México. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/008/j2628s/J2628S13.htm>. Fecha de consulta: 16 de septiembre de 2007

FAO. 2010. Global Forest Resource Assessment 2010. FAO Forestry Paper 163. p.378. Available at [www.fao.org/forestry/fra2010](http://www.fao.org/forestry/fra2010).

Figuerola, N.C., 2010. Almacenamiento de carbono en bosques manejados de *Pinus patula* en el Ejido La Mojonera, Zacualtipán, Hidalgo. Tesis de Maestro en Ciencias. Postgrado Forestal, Colegio de Postgraduados. Monticello, México. 72 p

Fregoso, A., A. Velázquez, G. Bocco y G. Cortéz. 2001. El enfoque de paisaje en el manejo forestal de la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. 46:58-77.

Gadow K. v., and G. Hui. 1999. Modelling Forest Development. Kluwer Academic Publishers, Alemania. 213 pp.

Gadow, K. v., and G. Hui. 2002. Characterising forest spatial structure and diversity. In: Bjoerk, L. (Ed). Proceedings IUFRO Int. workshop 'Sustainable forestry in temperate regions'. Lund, Sweden, pp 20-30.

Gadow, K., Sánchez, O. S., & Álvarez, G. J. G. (2007). Estructura y Crecimiento del Bosque Retrieved from [http://www.iwww.forst.uni-goettingen.de/doc/kgadow/lit/kvgestructura\\_y\\_crecimiento\\_del\\_bosque.pdf](http://www.iwww.forst.uni-goettingen.de/doc/kgadow/lit/kvgestructura_y_crecimiento_del_bosque.pdf)

García M., E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Editado por la autora. México, D.F. 252 p.

García, R. V., Petersen, P. B., Rodríguez, A. G., Pérez, A. L. S., & Martínez, F. M. H. (2005). Caracterización estructural y diversidad de comunidades arbóreas de La Sierra de Quila. *Ibugana: Boletín del Instituto de Botánica*, 13(1), 67-76.

Garzuglia, M. y M. Saket. 2003. Wood volume and woody biomass: review of FRA 2000 estimates. Forest Resources Assessment WP 68. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia. 30 p

Gavilán, R. G., & Rubio, A. (2005). *¿Pueden los índices de diversidad biológica ser aplicados como parámetros técnicos de la gestión forestal?* Artículo



presentado en la I Reunión sobre ecología, ecofisiología y suelos forestales, Pontevedra. <http://www.secforestales.org/web/images/stories/c20.pdf>

- Gómez-Díaz, J. D., Etchevers-Barra, J. D., Monterrosos-Rivas, A. I., Campo-Alvez, J., & Tinoco-Rueda, J. A. (2011). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Quercus magnoliaefolia*. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(2), 261-272
- Gómez-García, E., Crecente-Campo, F. y U. Diéguez-Aranda. 2013. Tarifas de biomasa aérea para abedul (*Betula pubescens* Ehrh.) y roble (*Quercus robur* L.) en el noroeste de España. *Madera y Bosques* 19(1):71-91.
- Gracia, C.; Vayreda, J.; Sabaté S.; Ibañez J. 2004. Main components of the aboveground biomass expansion factors. CREAF, Centre de Recerca Ecological Aplicacions Forestals. University of Barcelona, Spain. 24 p
- Griscom, B., D. Ganz, N. Virgilio, F. Price, J. Hayward, R. Corte, G. Dodge, J. Hurd, F. L. Lowenstein and B. Stanley. 2009. The Hidden Frontier of Forest Degradation. Review of the Science, Policy and Practice of Reducing Degradation Emissions. The Nature Conservancy. Arlington, VA, USA. 76 p.
- Hall, G. M. J., Wiser, S. K., Allen, R. B., Beets, P. N., Goulding, C.J., 2001. Strategies to estimate national carbon stocks from inventory data: the 1990 New Zealand baseline. *Global Change Biology* 7, 389–403.
- Hidalgo, L.G.; Cauhepé, M.A.; Viviani, E. M.; Galatoire A. y Meijome Colabelli, M.1990. Evaluación de un método no destructivo para estimación de biomasa forrajera. *Turrialba*. Vol. 40, T. 3, pp. 403-409.
- Husch, B.; Beers, T. W.; Kershaw, J. A. 2003. *Forest Mensuration*. John Wiley & Sons. Hoboken, New Jersey. USA. 433 p.in REDD+. *Unasylva* 239(63):51-56
- INEGI, 2004. Guía para la interpretación de información cartográfica impresa y digital de uso de suelo y vegetación. Edit. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags., México.
- INEGI, 2009. Guía para la interpretación de cartografía uso del suelo y vegetación: Escala 1:250 000: Serie III. Edit. Instituto Naciones de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags. México. 74 p
- INEGI, 2010. Cartas de Hidrologías Superficial. H12-9, H12-12 Y H13-7. Escala 1: 50,000

- INEGI, 2010. Conjunto Nacional de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1:250,000, serie II, DGG-INEGI, México.
- INEGI, 2011. Conjunto Nacional de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1:250,000, serie V, DGG-INEGI, México.
- INEGI. Cartas de Geología. H12-9, H12-12 Y H13-7. Escala 1:250000.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1995. *Climate Change 1995. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. *In*: Penman, J., M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe and F. Wagner (eds.). The Institute for Environmental Strategies (IGES). Kanagawa, Japan. 632 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Technical Summary. Intergovernmental Panel on Climate Change. Ginebra, Suiza. 72 p
- Jiménez, J., Aguirre, O., & Kramer, H. (2001). Análisis de la estructura horizontal y vertical en un ecosistema multicohortal de pino-encino en el norte de México. *Forest Systems*, 10(2), 355-366.
- Jost, L. 2006. Entropy and diversity. *Oikos*. 113:363-375.
- Magurran, A. 1989. Diversidad ecológica y su medición. Ediciones Vedrá, Barcelona, España. 200
- Kauffman, J.B., R.F. Hughes y C. Heider. 2009. Carbon pool and biomass dynamics associated with deforestation, land use, and agriculture abandonment in the neotropics. *Ecological Applications* 19(5):1211-1222
- Koch P. 1989. Estimates by Species Group and Region in the USA of: I Below-Ground Root Weight as a Percentage of Oven dry Complete- Tree Weight; and II Carbon Content of Tree Portions. Unpublished Consulting Report. 23 p.

- López-Hernández, J. A., Aguirre-Calderón, Ó. A., Alanís-Rodríguez, E., Monarrez-Gonzalez, J. C., González-Tagle, M. A., & Jiménez-Pérez, J. (2017). Composición y diversidad de especies forestales en bosques templados de Puebla, México. *Madera y bosques*, 23(1), 39-51.
- Lozano, Torres, Yancilly, Los Sumideros de Carbono: Un Análisis de La Potencialidad Económica en un Bosque de Manglar del Pacífico Colombiano. Ingeniería De Recursos Naturales Y Del Ambiente [En Línea] 2007, (Sin mes): [Fecha de consulta: 6 de mayo de 2018] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231120826007>> ISSN 1692-9918
- Margalef, R. 1972. Homage to Evelyn Hutchinson, or why is there an upper limit to diversity. *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*, 44: 211-235.
- Mas, J.F., A. Velásquez, J. Reyes, R. Mayorga-Saucedo, C. Alcántara, G. Bocco, R. Castro, T. Fernández y A. Pérez-Vega. 2004. Assessing land use/cover changes: a nationwide multirate spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 5(4):249-338.
- Masera, O. 1996. Deforestación y degradación forestal en México. GIRA, A.C., Documentos de trabajo No. 19, México
- Meza Rangel, J. (2008). Carbono contenido en un bosque tropical subcaducifolio en la reserva de la biosfera el cielo, Tamaulipas, México.
- Miles D. P.; SMITH, W. B. 2009 Specific Gravity and Other Properties of Wood and Bark for 156 Tree Species Found in North America Northern Research Station Research Note NRS-38 United States Department of Agriculture Forest Service. 39p.[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=5110201&pid=S2007-4018201000020001500024&lng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=5110201&pid=S2007-4018201000020001500024&lng=es)
- Minitab, Inc. (2013). Minitab Statistical Software, Versión 16 para Windows, State College, Pennsylvania.
- Moreno, C. E., Barragán F., Pineda E., & Pavón N. P. 2011. Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82: 1249-1261.

- Muñoz, M., Montero, G., Dones, J., & Rojo, A. (2004). Fijación de CO<sub>2</sub> por *Pinus sylvestris* L. y *Quercus pyrenaica* Willd. en los montes «Pinar de Valsaín» y «Matas de Valsaín». *Forest Systems*, 13(2), 399-415.
- Návar, J. 2009. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management*, doi:10.1016/j.foreco. 2008.09.028. 257:427-434
- Návar-Cháidez, J. D. J. (2010). Los bosques templados del estado de Nuevo León: el manejo sustentable para bienes y servicios ambientales. *Madera y bosques*, 16(1), 51-69.
- Návar-Cháidez, J. J. 2009. Allometric equations and expansion factors for tropical dry trees of eastern Sinaloa, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10: 45–52]
- Návar-Cháidez, J.J. 2010. Biomass allometry for tree species of northwestern Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 12(3):507-519
- NETL, 2004. Developing the technology base and infrastructure to enable sequestration as a greenhouse gas mitigation option. National Energy Technology Laboratory. Estados Unidos. Website: [www.netl.doe.gov](http://www.netl.doe.gov)
- Olschewski, R. and P. Benítez C. 2010. Optimizing joint production of timber and carbon sequestration of afforestation projects. *Journal of Forest Economics* 16(1):1-10.
- Olthoff, A. E., Martínez-Ruiz, C., Alday, J. G. 2016. Patrones de distribución de especies arbustivas respecto a arbóreas a lo largo de un gradiente ambiental atlántico-mediterráneo: una aproximación a partir de datos del tercer Inventario Forestal Nacional. *Ecosistemas* 25(3): 22-34. Doi.: 10.7818/ECOS.2016.25-3.03pp.
- Ordóñez D., J. A. B. 1999. Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP. Desarrollo gráfico editorial. México, D. F. 72 p.
- Ordóñez José Antonio, Bernardus H.J. de Jong y Omar Masera 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán *Madera y Bosques* 7(2), 2001:27-47 27
- Ordóñez D., J.A.B., A. Galicia N., N.J. Venegas M., T. Hernández T., M.J. Ordóñez D. y R. Dávalos-Sotelo. 2015. Densidad de las maderas mexicanas por tipo

de vegetación con base en la clasificación de J. Rzedowski: compilación.  
Madera y Bosques 21(Núm. esp.):77-126

Pacheco-Aquino, G., Durán Medina, E., & Ordóñez-Díaz, J. A. B. (2015). Estimación del carbono arbóreo en el área de manejo forestal de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(29), 126-145

Pompa-García, Marín, Yerena-Yamalliel, José I., Concentración De Carbono En Pinus Cembroides Zucc: Fuente Potencial de Mitigación del Calentamiento Global. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* [en línea] 2014, 20 [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2018] Disponible en: <<http://oai.redalyc.org/articulo.oa?id=62932844002>> ISSN 2007-3828

Pompa-García M, Sigala-Rodríguez JA, Jurado E, Flores J (2017). Tissue carbon concentration of 175 Mexican forest species. *iForest* 10: 754-758. – doi: 10.3832/for2421-010 [online 2017-08-05]

Pretzsch, H. 2009. *Forest Dynamics, Growth and Yield. From Measurement to Model*. Springer- Verlag Berlín Heidelberg, Alemania. 664 pp.

Putz, F. E., P. A. Zuidema, M. A. Pinard, R. G. A. Boot, J. A. Sayer, D. Sheil, P. Sist and E. J. K. Vanclay. 2008. Improved Tropical Forest Management for Carbon Retention. *PLOS Biology* 6(7):1368-1369.

Quispe Villafuerte, W. (2010). Estructura horizontal y vertical de dos tipos de bosque concesionario en la región Madre de Dios. Tesis de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Perú.

Ramos-Nava, I., Bustillos-Sandoval, R. D., y C. I. Martínez-Barrera. 2015. Programa de manejo forestal maderable nivel avanzado del Ejido Socorro Rivera Madera, Chihuahua. 389 pp.

REDD+: Retos y Opciones. CIFOR. Bogor, Indonesia. pp. 284-285.

Rodríguez Becerra Manuel y Henry Mance. 2009. Cambio climático: lo que está en juego. Foro Nacional Ambiental. Bogotá – Colombia. 76 p

- Rodríguez Laguna, R., Jiménez Pérez, J., Aguirre Calderón, Ó. A., & Treviño Garza, E. J. (2006). Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México. *Ciencia UANL*, 9(2).
- Rodríguez Laguna, Rodrigo, Jiménez Pérez, Javier; Aguirre Calderón, Óscar Alberto y Treviño Garza, Eduardo Javier (2006): *Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México*. Ciencia UANL, 9 (2). ISSN 1405-9177
- Rodríguez, V. Estimación dasométrica de carbono almacenado en bosque de *Abies religiosa* (HBK) Schl. Et Cham, del paraje El Cedral del Parque Nacional El Chico Hidalgo. 2013. Tesis Doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 113 pp.
- Rodríguez-Laguna, R., J. Jiménez-Pérez, J. Meza- Rangel, O. Aguirre-Calderón y R. Razo-Zárate 2008. Carbono contenido en un bosque tropical subcaducifolio en la reserva de la biósfera el cielo, Tamaulipas, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 4(2):215-222.
- Rodríguez-Laguna, R., J. Jiménez-Pérez, O. Aguirre-Calderón, E.J. Treviño-Garza y R. Razo-Zárate. 2009. Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la Reserva de la Biósfera el Cielo, Tamaulipas, México. *Ra Ximhai* 5(3):317-327
- Rosalino Díaz-Franco, Miguel Acosta-Mireles, Fernando Carrillo-Anzures, Enrique Buendía-Rodríguez, Eulogio Flores-Ayala y Jorge D. Etchevers-Barra 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham Madera y Bosques 13(1), 2007:25-34 25
- Rosete-Verges, Fernando A. et al. El avance de la deforestación en México 1976-2007. *Madera bosques* [online]. 2014, vol.20, n.1 [citado 2018-04-30], pp.21-35. Disponible en: <[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S140504712014000100003&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140504712014000100003&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 1405-0471.
- Rubio, E. A., González, M. A., Jiménez, J., Alanís, E., y D. Y. Ávila. 2014. Diversidad y distribución vertical de especies vegetales mediante el índice de Pretzsch. *Ciencia UANL*, 17(65).
- Rügnitz, M. T., M. Chacón L. y R. Porro. 2009. Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales. Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) - Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). Lima, Perú. 79 p.

- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México, D.F. 432 p
- Rzedowski, J. 1992. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. Ciencias número especial 6:47-56.
- Sala, O.E. y Austin, A. 2000. Methods of estimating aboveground net primary productivity. Pp. 31-43 en: Methods in Ecosystem Science. Springer. New York. Sala, O.E.; Jackson, R.B.; Mooney, H.A. & Howarth, R.H. (Eds.)
- Sánchez, E. 2000. Programa de Manejo Forestal para el Aprovechamiento Maderable Sustentable del Ejido Cerro Prieto, Municipio de Ocampo, del Estado de Michoacán. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 74 p.
- SARH – Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre. 1984. Guía Técnica para la Aplicación del Método de Desarrollo Silvícola (MDS)", México, D. F. 258 p
- Schroeder, P., S. Brown, J. Mo, R. Birdsey y C. Cieszewski. 1997. Biomass estimation for temperate broadleaf forests of the United States using inventory data. Forest Science. 43(3):424-434
- Schulze E. D.; Wirth Ch. and M. Heimann. 2000. Managing forest after Kyoto. Science. 289(5487): 2058-2059.
- Silva-Arredondo, F. M., & Návar-Cháidez, J. D. J. (2009). Estimación de factores de expansión de carbono en comunidades forestales templadas del norte de Durango, México. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 15(2), 155-163.
- Silva-Arredondo, F. M.; Prieto-Ruiz, J. A.; Návar-CHáidez, J. J. 2009. Estimación de la densidad de la madera en comunidades forestales templadas del norte de Durango, México. En Prensa en Madera y Bosques. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=5106350&pid=S2007-4018200900020001000025&lng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=5106350&pid=S2007-4018200900020001000025&lng=es)
- Skutsch, M. and M. K. McCall. 2012. The role of community forest management in REDD+. *Unasylva*, 239(63), p.p 51-56.
- Treviño Garza, E. J., Cavazos Camacho, C., & Aguirre Calderón, O. A. (2001). Distribución y estructura de los bosques de galería en dos ríos del centro sur de Nuevo León. *Madera y bosques*, 7(1).
- Valero Gutiérrez, Enrique del Olmo, (2004) "Los bosques como sumideros de carbono: una necesidad para cumplir con el Protocolo de Kioto ".Director del

Grupo de Investigación AF-4 y de la EUIT Forestal de Pontevedra (Universidad de Vigo). Madrid., p.p. 2,3.

Zacarías-Eslava, L. E., Cornejo-Tenorio, G., Cortés-Flores, J., González-Castañeda, N., & Ibarra-Manríquez, G. (2011). Composición, Estructura Y Diversidad Del Cerro El Águila, Michoacán, México. *Revista Mexicana De Biodiversidad*, 82(3), 854-869.

Zavala, C. F. 1998. Observaciones sobre la distribución de encinos en México. *Polibotánica* 8: 47-64.

Zarco-Espinosa, V. M., Valdez-Hernández, J. L., Ángeles-Pérez, G., & Castillo-Acosta, O. (2010). Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y ciencia*, 26(1), 1-17.